

HUEMULES

CIENCIAHOY

Revista de divulgación científica y tecnológica de la Asociación Ciencia Hoy

Vol. 2 N° 8 junio/agosto 1990

Noroeste prehispánico
Efecto Hall cuántico
Tiempo y muerte
ADN





Las comunicaciones.
El Aluminio convive con Usted
de mil maneras, todos los días.
Nosotros lo producimos
en Puerto Madryn
para el país y el mundo.


aluar
Aluminio Argentino

INSTITUCIONES

Los felicito por la revista ya que, como profesora en Ciencias Naturales y estudiante de Medicina, encontré en ella una fuente de información científica responsable y seria que permite conocer los trabajos que se realizan en el país. Desearía que me aclarasen una inquietud motivada por la reseña "Releer a Houssay" (n° 4), en la que se mencionan el Instituto de Fisiología y la Sociedad Argentina de Biología. Tal vez puedan informarme si el Instituto existe todavía (y en tal caso cuál es su dirección) y, en el caso de la Sociedad de Biología, su dirección y las actividades que realiza en el ámbito de la fisiología animal y humana.

Bibiana E. Schiazzano,
Remedios de Escalada

• *El Instituto de Fisiología —actualmente en reestructuración— tiene su sede en la Facultad de Medicina de la Universidad de Buenos Aires, Paraguay 2155, 7° piso, Capital Federal. Entre otros, realizan en él investigaciones los grupos de los profesores Daniel Cardinali (neurociencias), Jaime Moguilevsky (endocrinología) y Mario Parisi (biofísica). Por su parte, la Sociedad Argentina de Biología se encuentra en la calle Obligado 2490, Capital Federal, y dicta numerosos cursos universitarios de perfeccionamiento en temáticas que pueden incluir desde anticuerpos monoclonales hasta fisiología de la reproducción.*

IMÁGENES FRAGMENTARIAS

Felicitemos muy entusiastamente a F. Lobo Carneiro por "Galileo y los efectos del tamaño" y a G. Boido por "Las imágenes fragmentarias", ambos artículos publicados en el n° 5 de *Ciencia Hoy*. Dado que los excelentes trabajos tratan sobre diversos aspectos de la obra del genial "padre de la ciencia moderna" hemos considerado oportuno enviar una sola carta sobre ambos artículos.

Con respecto al primer trabajo, deseamos consignar el hecho de que en

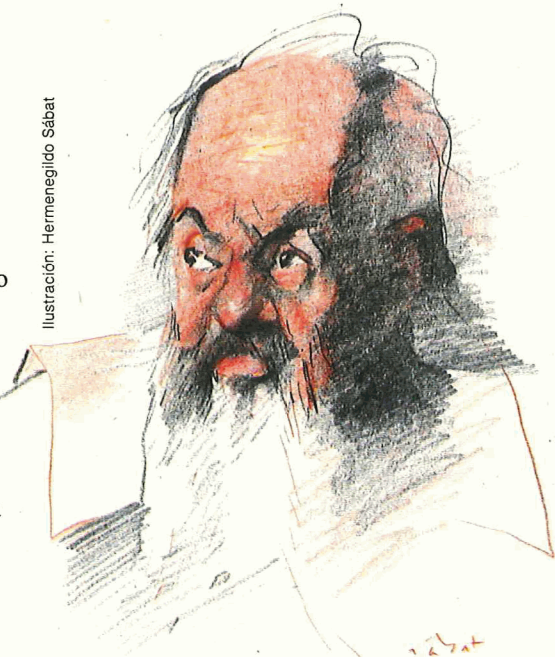
general se acepta que los árabes habían descubierto el isocronismo del péndulo, en el caso de pequeñas oscilaciones, varios siglos antes que Galileo. De manera alguna esto quita mérito a la obra de Galileo, sólo confirma las palabras de Abdus Salam en el Congreso auspiciado por la Academia de Ciencias del Tercer Mundo y celebrado en Pekín en 1987: "La Ciencia es herencia compartida por la humanidad entera: el Norte y el Sur, el Este y el Oeste han contribuido a su desarrollo". Con respecto a la publicación de la obra fundamental de Galileo y que él prepara después del deplorable juicio, concordamos con Arthur Koestler en que fue publicado por los Elzevir en Leiden pero también había sido autorizada su publicación en Viena, gracias a la intervención del sacerdote jesuita Paulus.

En lo que concierne a "Las imágenes fragmentarias", el estudio del profesor Boido, estamos de acuerdo con varios de sus aspectos, pero consideramos que desde un punto de vista histórico-científico enteramente objetivo es necesario presentar una visión "menos fragmentaria" de la historia de las ciencias para comprender mejor a Galileo, su personalidad, su obra y su época.

Todos concordamos en que el fallo de la Inquisición fue un tremendo error y atropello. Juan Pablo II ha expresado su profundo dolor y pedido perdón a Galileo por lo acontecido. Estamos también de acuerdo con que esto no mitiga la mortificación y la humillación que sufrió Galileo en su momento, pero: ¿qué otra cosa puede hacerse ahora? Para comprender mejor la gravísima muestra de intolerancia del tribunal de la Inquisición hay que tener en cuenta los dos argumentos principales de Galileo con respecto a la movilidad de la Tierra: (1) las fases de Venus; y (2) las mareas. El primero no era concluyente y el segundo (en el cual Galileo pone gran énfasis) era erróneo.

En lo que concierne al segundo argumento consideramos que arroja luz sobre la personalidad de Galileo, ya que en el siglo VIII el célebre monje británico Beda había mostrado con gran claridad la influencia lunar sobre las mareas y, en tiempos de Galileo, Kepler había insistido en la misma explicación

Ilustración: Hermenegildo Sábat



del fenómeno (quizá con menos claridad que Beda).

Por otra parte, el cardenal católico alemán Nicolás de Cusa (1401-1464) ya había sugerido que la Tierra probablemente se movía, que las órbitas de los planetas no necesariamente son circulares (en esto hay que aclarar que Galileo insistió siempre en la circularidad de los movimientos) y sus ideas con respecto al tamaño de los cuerpos celestes hacen que autores como Pledge lo consideren como uno de los precursores de la teoría de la relatividad. Concordamos con Boido en que una gran genialidad de Galileo fue la de "reclamar autonomía para la investigación científica". Pero enfatizamos el hecho de que San Alberto Magno, gran precursor de la ciencia moderna, ya lo había hecho cuatro siglos antes que Galileo.

Célebres autores como Crombie (Oxford University) señalan que la composición vectorial de velocidades fue sugerida en forma muy clara por el dominico Jordano Nemorarius en el siglo XIII. Por otra parte otro dominico, discípulo de Alberto Magno, Teodorico de Freiberg, realizó numerosas investigaciones experimentales para analizar el fenómeno del arco iris, convirtiéndose en uno de los primeros físicos experimentales.

Antecedentes directos del deplorable juicio a Galileo lo constituyen las burlas

e insultos a Copérnico por parte de miembros del protestantismo, fundamentalmente de Lutero y Melancton. En cambio la Iglesia apoyó a Copérnico en la publicación de sus obras. Resulta curioso el hecho de que nunca se mencionen estos hechos, así como la circunstancia de que los jesuitas enseñaron en China el sistema copernicano con posterioridad al dictamen de la Inquisición.

Un célebre dominico de Salamanca, Domingo de Soto, publicó una obra mostrando que en cuestiones de física Aristóteles erraba en numerosas circunstancias y definió con buena precisión el movimiento uniformemente acelerado y cómo calcular el espacio recorrido casi 90 años antes de que Galileo publicara sus célebres *Discorsi* (Galileo cita a de Soto, así como a Tomás de Aquino, Alberto Magno y otros).

También se acepta actualmente que la obra inicial de Galileo (*Juvenilia*) está basada, en gran medida, en las obras de cuatro profesores jesuitas del "Collegio Romano" (una de estas obras es *Comentarios sobre la esfera de Sacrobosco* del célebre matemático jesuita Christoffer Clavius).

También ayuda a comprender a Galileo y su época el estudio de la obra del benedictino Benedetto Castelli, el discípulo predilecto de Galileo, "padre de la hidráulica moderna" según Stillman Drake y autor de numerosas contribuciones científicas. Este hombre de la Iglesia permaneció siempre al lado de Galileo y fue el maestro de Torricelli, Cavalieri, Viviani y Borelli (cuando fue profesor en la Universidad de Pisa, su rector, laico, le prohibió enseñar que la Tierra se mueve).

Boido hace una breve alusión a la teoría de la evolución y la posición de la Iglesia "Darwin mediante", pero no menciona que uno de los pilares fundamentales de la teoría lo constituyen los estudios de Lamarck (siglo XVIII), discípulo de los jesuitas e inclusive novicio jesuita en una época de su vida. Tampoco habla de la posición intransigente de los protestantes fundamentalistas con respecto a la teoría de la evolución al negarse a aceptar su posibilidad. (En 1983 el estado de Louisiana aprobó una ley por la cual obligatoriamente se enseñaba en las



22 M 5 (Platyphillum), de E. H. Rapoport. Foto del autor

escuelas públicas la versión bíblica de la creación del mundo; esta ley fue declarada inconstitucional por la Suprema Corte de Justicia de los EE.UU. en 1987.)

Otra muestra clara de la "mitografía racionalista" consiste en insistir siempre sobre la quema de Giordano Bruno por parte de la Inquisición católica (Bruno fue un formidable pensador, continuador de la obra de dos grandes hombres de la Iglesia: Ramón Lulio, uno de los padres de la lógica matemática, y Nicolás de Cusa). Pero es común omitir el hecho de que Miguel Servet, teólogo y fisiólogo español, fue hecho quemar por Calvino y sus seguidores.

Sepamos admitir con humildad las miserias y errores de todo grupo étnico o religioso pero reconozcamos también sus aciertos y muestras de grandeza.

Patricio A. A. Laura, Daniel Pascua y Salvador La Malfa, Bahía Blanca

• Los lectores, investigadores de la Universidad Nacional del Sur, han titulado su texto "Un intento de brindar una visión menos fragmentaria de la historia de las ciencias".

RAPOPORT

Me interesó mucho el reportaje realizado al biólogo E. H. Rapoport (*Ciencia Hoy*, n° 6, pág. 38), pues del mismo se desprende que un científico es un ser humano que trabaja pero a la vez vive. Lo apasionante de la nota es que conocemos a la persona además del investigador. Comparto plenamente la posición de evitar la solemnidad en ciencia, ya que aleja a la gente y a los jóvenes de una actividad apasionante como es la investigación. Con respecto al comentario realizado acerca de la influencia que tuvieron los docentes en la decisión del entrevistado de dedicarse a la biología, mi opinión es que la escuela, sobre todo la media, contribuye bastante poco a la formación de futuros científicos. (...) Así como yo desconocía el tema de la contaminación por especies, pienso que lo propio debe ocurrir con otros docentes y, dado que existe en el primer año de las escuelas medias una unidad dedicada a los parques nacionales, sería interesante poder contar con más información acerca del tema para transmitirla y, aunque sea modestamente, contribuir a conservar nuestra tierra con su flora y su fauna, y así también nuestra identidad. (...) Por ello les pido que me informen adónde debo dirigirme para ampliar conocimientos sobre estas cuestiones.

María S. Martínez Filomeno, Buenos Aires

• Actualmente *Ciencia Hoy* prepara un artículo sobre la extinción de especies cuyo autor es precisamente E. H. Rapoport. La lectora puede dirigirse al programa de capacitación docente Prociencia (INPAD-CONICET), en cuyo curso de biología se tratan los temas mencionados. La dirección es Callao 930, primer piso, (1023) Buenos Aires, y el curso está a cargo de la Lic. Diana Rosenberg.

A NUESTROS LECTORES

Los editores solicitan que las cartas enviadas a esta sección no excedan el equivalente a 50 líneas de 60 espacios, ya que, en caso contrario, no podrán ser publicadas o deberán ser abreviadas.

SUGERENCIAS

El país sufre una aguda y persistente crisis cuyas consecuencias repercuten en todas las actividades que se desarrollan en su ámbito. Es obvio que la ciencia y la tecnología no podían quedar al margen de las emergencias de la crisis, pero lo preocupante es que éstas parecen ser particularmente gravosas para dichas actividades, al punto de amenazar seriamente su continuidad. Por lo tanto, ahora más que nunca es preciso hacer conocer a la opinión pública la mayor cantidad de información concerniente al quehacer científico-tecnológico nacional. En tal sentido sugiero que *Ciencia Hoy* publique en cada número un artículo especialmente dedicado a un centro de investigación argentino, describiendo sus actividades, los objetivos de la investigación que allí se realiza, los logros obtenidos y las dificultades presupuestarias. Asimismo, el artículo podría incluir la opinión de los científicos que se desempeñan en el centro en cuestión, los premios o menciones honoríficas obtenidos local e internacionalmente, sus remuneraciones, etcétera.

Eduardo Felizia, Quilmes

¿POLÍTICA CIENTÍFICA?

La lectura de un interesante artículo escrito por R. Zilinskas (*Genome*, 31:1046-1054, 1989) acerca de los vicios estructurales que traban el avance científico en los países del mundo en desarrollo, me ha movido a reflexionar acerca de si realmente existe una conciencia de la situación y una política científica nacional.

Las manifestaciones del Secretario del área (*La Nación*, 7 de julio de 1989) no dejan traslucir un esquema concreto de política científica; más bien se refieren, en general, a la adopción de medidas contrarias a las de la administración anterior. A lo largo de casi un año, esta tendencia a "la contraposición con lo anteriormente hecho" se ha evidenciado claramente, en especial en lo que va de 1990, sin que se haya aportado, por otro

Fernando Sendra



lado, un programa de desarrollo y los mecanismos factibles para implementarlo.

Esta ausencia de un marco conceptual para la implementación del desarrollo científico contrasta con los cambios de asesores realizados en gran escala en las principales reparticiones oficiales del área científica. Ello sugiere la existencia de una concepción en la cual los cambios de personal tienen prioridad con respecto al establecimiento de objetivos públicamente enunciados en materia de política científica.

A falta de un esquema integral y coherente, ciertas pautas y objetivos parciales podrían deducirse de las declaraciones y las acciones de los responsables del área. Una de estas pautas parece ser la necesidad de "reparar" supuestos perjuicios a personas y grupos individualmente seleccionados; otra sería "coordinar proyectos y programas con las universidades privadas, así como con el sector de Defensa"; una tercera, "fortalecer los vínculos" con el sector productivo, pues se señalan "las ventajas de que los empresarios tengan conocimientos de tecnología avanzada".

A casi un año de enunciados estos objetivos parciales, podría evaluarse su grado de implementación. De esa manera, se advertiría que el objetivo de "reparación" parece haberse cumplido en gran parte, a juzgar por los cambios de personas en los cuerpos oficiales. *A priori*, este objetivo es el de más fácil ejecución. La coordinación de programas con universidades privadas y el área de Defensa parece haberse realizado sólo parcialmente, y más en un ámbito teórico de planificación que en

uno de ejecución. El área de Defensa, en la actualidad, se integra con tecnología de avanzada, y es poco probable, por consiguiente, que puedan realizarse considerables progresos en este sector. El objetivo de mayor relieve, la interacción Ciencia-Tecnología-Industria, es el que pareciera mostrar un grado menor de realización. Si se tiene en cuenta el ritmo creciente de acuerdos de investigación aplicada a la industria concretados en el área de la SECYT en 1986-1989, este objetivo evidencia un neto *retroceso*. No ayudan a la concreción de acuerdos de aplicación tecnológica los desafortunados vaivenes en la calificación de la seriedad científica y la factibilidad de proyectos; en tal sentido, la reanudación de trabajos oficiales sobre la crotoxina es desconcertante.

A la debilidad de una política científica ha de sumarse la situación personal de los investigadores y técnicos, que es visiblemente angustiada. Los salarios de los investigadores, becarios y técnicos han descendido a niveles incompatibles con las necesidades mínimas. Ello ha estado determinando, en los últimos meses, una creciente deserción del personal científico, que se vuelca hacia otras actividades o emigra. También se aprecia una disminución del número de aquéllos que regresan del exterior, de manera tal que existe un decrecimiento neto del personal científico y tecnológico. El número —y presumiblemente la calidad— de los proyectos de investigación está disminuyendo en forma correlativa. A la vez, el número decreciente de becarios indica una reducción del personal científico, que se proyecta hacia el futuro con consecuencias inciertas.

Las implicancias tanto de la ausencia de una política científica coherente como de la situación apremiante generalizada entre los científicos y tecnólogos, no son difíciles de vislumbrar. Algunos —cuya fortuna personal se lo permita— continuarán realizando sus trabajos de investigación, dependiendo de la continuidad de los subsidios de investigación oficiales. Pero, aun los afortunados, no podrán contar con un *sistema científico*, vigoroso y capaz de competir, y también de ayudar a la sociedad argentina a mejorar su calidad de vida.

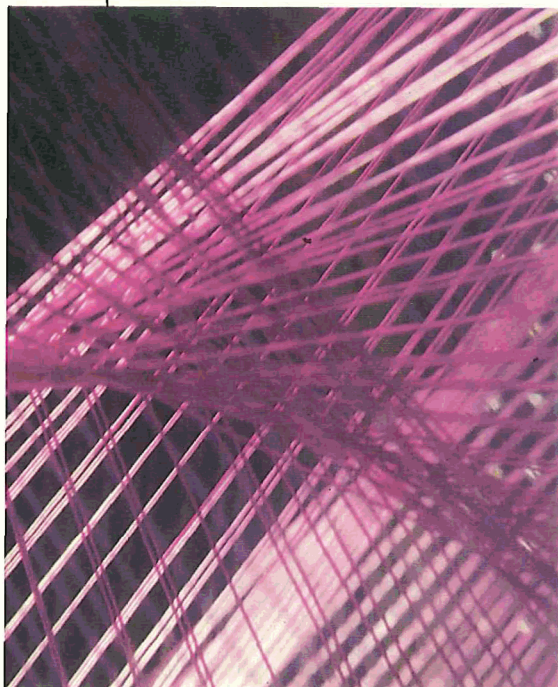
Alberto J. Solari, Buenos Aires



16



18



26

CARTAS DE LECTORES

1

EDITORIAL

7

AQUÍ CIENCIA

8

Una nueva técnica de separación y purificación, la extracción supercrítica, carece de los inconvenientes provocados por el uso de solventes tradicionales. Existen ya interesantes aplicaciones de ella.

ENTREVISTA

10

Durante su visita a la Argentina, Ilya Prigogine, premio Nobel en Química en 1977, dialogó con *Ciencia Hoy* sobre sus novedosas teorías y sobre los problemas que afectan a la ciencia contemporánea.

CIENCIA EN EL MUNDO

16

La investigación con ratones en los que se hicieron desarrollar células humanas abre un importantísimo campo de estudio para enfermedades que afectan el sistema inmunológico.

ARTÍCULOS

ENTRE PIRÁMIDES Y JAGUARES

18

Inés Gordillo

Trabajos realizados en el sitio arqueológico La Rinconada, en la provincia de Catamarca, revelan valiosa información para profundizar en el conocimiento de nuestro pasado precolombino.

ADN: UNA MOLÉCULA MARAVILLOSA

26

Néstor O. Bianchi

El estudio actual de las formas del ácido desoxirribonucleico (ADN) permite prever un tiempo no lejano en el que se logre una acabada comprensión de su arquitectura y topología, así como de la manera en la que los microcambios moleculares causan macrocambios en el funcionamiento génico.

EL EFECTO HALL CUÁNTICO

36

Francisco Claro

Utilizado actualmente para fundamentar un nuevo patrón de resistencia eléctrica, el efecto Hall cuántico se pone en evidencia mediante simples mediciones de corrientes y voltajes. Su interpretación teórica, sin embargo, ofrece dificultades aún no superadas.

LA MUERTE Y SUS VENTAJAS

44

Fanny Blanck-Cereijido y Marcelino Cereijido

Biología, psicoanálisis y medicina confluyen en este análisis que intenta dar una visión objetiva de uno de los procesos más conflictivos del ser humano: el envejecimiento y la muerte.

EN BUSCA DEL HUEMUL PATAGÓNICO

58

Alejandro Serret

Cuando la colonización amenaza la existencia de especies animales en la Argentina, un grupo de conservacionistas encara estudios que tienden a evitar la desaparición del huemul, un ciervo andino.

OPINIÓN

50

El carácter polémico del artículo "La muerte y sus ventajas" (página 44) motiva algunas reflexiones por parte de un médico e investigador clínico. La vastedad del tema origina nuevos puntos de vista acerca del mismo.

MEMORIA DE LA CIENCIA

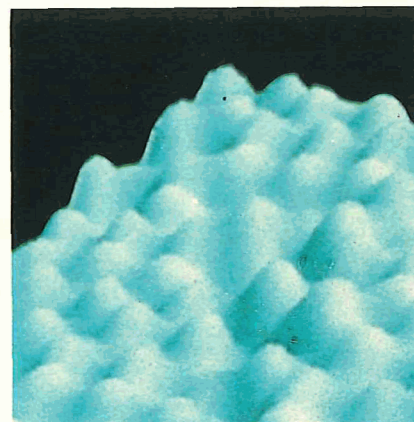
54

Lamarck (1744-1829), fundador de la teoría de la evolución, fue uno de los científicos más criticados en toda la historia de la biología. Estudios realizados en estos últimos años comienzan a analizar su obra con mayor objetividad, considerando la influencia que sobre ella tuvieron los factores sociales, políticos e intelectuales de la época.

EL LECTOR PREGUNTA

64

Las diferentes situaciones astrofísicas que caracterizan a las supernovas de Tipo I y de Tipo II explican por qué las reacciones nucleares que acontecen en ellas originan productos distintos a partir de un mismo elemento, el carbono.



36



44



58

Tapa: detalle de un vaso antropomorfo con diseños grabados procedente de Singuil, El Bolsón, en el departamento catamarqueño de Ambato, que ilustra el artículo "Entre pirámides y jaguares" (pág. 18). Cortesía del Museo de La Plata.

Foto: Andrés Barragán.

Publicación bimestral de la Asociación Ciencia Hoy.

Sede: Avda. Corrientes 2835, Cuerpo A, 5° A (1193) Buenos Aires, teléfonos 961-1824 y 962-1330.

Editores Responsables: Jorge Balán (Centro de Estudios de Estado y Sociedad), Daniel R. Bes (Departamento de Física, Comisión Nacional de Energía Atómica), Olga Dragún, *coordinadora* (Departamento de Física, Comisión Nacional de Energía Atómica), Patricio Garrahan (Instituto de Química y Físicoquímica Biológicas, Universidad de Buenos Aires-CONICET).

Editor Asociado: Guillermo Boido (Departamento de Física, Universidad Nacional de La Plata).

Consejo Editorial: Elvira Arrizurieta (Instituto de Investigaciones Médicas "Alfredo Lanari", Universidad de Buenos Aires), Ennio Candotti (Instituto de Física, Universidad Federal de Río de Janeiro, *miembro invitado*), José C. Chiaramonte (Instituto de Historia "Emilio Ravignani", Universidad de Buenos Aires), Elena Chiozza (División Geografía, Universidad Nacional de Luján), Ezequiel de Olayo (Centro de Investigaciones Filosóficas), Samuel Finkielman (Instituto de Investigaciones Médicas "Alfredo Lanari", Universidad de Buenos Aires), Guillermo Jaim Etcheverry (Facultad de Medicina, Universidad de Buenos Aires), Santiago Olivier (Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación, Universidad Nacional de La Plata), Alejandro C. Paladini (Instituto de Química y Físicoquímica Biológicas, Universidad de Buenos Aires-CONICET), José Pérez Gollán (Museo Etnográfico, Universidad de Buenos Aires-CONICET), Alberto Pignotti (Fundación para el Desarrollo Tecnológico), Alfredo R. Pucciarelli (Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de Buenos Aires - CONICET), Osvaldo A. Reig (Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires), Fidel Schaposnik (Departamento de Física, Universidad Nacional de La Plata-CIC), Jorge E. Testoni (Departamento de Física, Comisión Nacional de Energía Atómica - CONICET).

Secretaría de Redacción: Heber Cardoso (coordinador), Silvia Pomeranicc (asistente).

Edición de Texto: Susana Frenzel Beyme, Gabriela Tenner.

Edición de Arte: Pablo Barragán (jefe), Claudia Fano (armado).

Asesoramiento administrativo contable: Estudio Baulán & Lezaola.

Administración: Beatriz Frydman (coordinadora), María Rosa Rodríguez (servicios contables), Fabián Demarco (depósito y expedición), María García Blaya, Stella Maris Gramajo (servicios internos).

Colaboradores: Quino, Fernando Sendra (humor). Aldo Chiappe (ilustraciones). Andrés Barragán (fotografía). Ricardo Arrúa, Francisco Revelli, Guilherme Sarmento (dibujos). Alberto Bernades (corrección).

Ciencia Hoy agradece la gentileza de Sofia de Althabe por autorizar la reproducción de "Tensiones espaciales", de Julián Althabe, obra perteneciente a su colección.

Consejo Científico: Rafael Braun (Centro de Investigaciones Filosóficas), Ranwell Caputto (Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Nacional de Córdoba), Rodolfo M. Casamiquela (Fundación Ameghino), Roberto Fernández Prini (Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires), Juan José Giambiagi (Centro Latinoamericano de Física), Jorge E. Hardoy (Instituto Internacional de Medio Ambiente y Desarrollo), Juan A. Legisa (Instituto de Economía Energética, Fundación Bariloche), Eduardo Rapoport (Centro Regional Universitario Bariloche, Universidad Nacional del Comahue), Eugenia Sacerdote de Lustig (Instituto "Angel Roffo", Universidad de Buenos Aires), Samuel Taleisnik (Instituto de Investigación Médica "Mercedes y Martín Ferreira"), Gregorio Weinberg (CONICET).

Corresponsal en Alemania: Patricia Morales (Facultad de Filosofía, Universidad de Frankfurt) Frankfurt, Alemania Federal.

Corresponsal en Bariloche: Edgardo Angel Bisogni (Instituto Baliseiro, Centro Atómico Bariloche) Avda. Ezequiel Bustillo, km 9,5 (8400) San Carlos de Bariloche.

Corresponsal en Córdoba: Juan Martín González, Bv. Chacabuco 1127 (5000) Córdoba (CONICOR), teléfono (051) 69-5101.

Corresponsal en La Plata: Néstor Murgier (Departamento de Geografía, Universidad Nacional de La Plata), calle 42 N° 1092 (1900) La Plata, teléfono (021) 24-8208.

Corresponsal en Mar del Plata: Alberto De La Torre (Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Mar del Plata), Funes 3350 (7600) Mar del Plata, teléfono (023) 72-3831.

Corresponsal en México: Marcelino Cerejido (CINVESTAV, Instituto Politécnico Nacional) Apdo. Postal 14-740, México D.F., teléfono 586-05-01.

Corresponsal en Madrid: Eduardo F. Muscar Benasayag, Ma. de Molina 34 - 7° B (28006) Madrid.

Corresponsalía en Río de Janeiro: Revista *Ciência Hoje*, Av. Venceslau Brás 71, fundos, casa 27, Río de Janeiro, CEP 22290, teléfonos 295-4846, 295-4442, 275-8795, télex (021) 36952. En esta dirección puede adquirirse *Ciencia Hoy* (precio sujeto a confirmación) o abonarse a una suscripción por seis números (precio sujeto a confirmación). *Ciência Hoje* puede adquirirse en Corrientes 2835, Cuerpo A, 5° A (1193) Buenos Aires (precio sujeto a confirmación).

Suscripciones: América latina (excepto Argentina) y África (6 números): u\$s 50 (aéreo). EE.UU. y Europa (6 números): u\$s 60 (aéreo).

Distribución: En Capital y Gran Buenos Aires, Rubbo S.R.L. En interior, DISA S.A.

Asociación Ciencia Hoy: Es una asociación civil, sin fines de lucro, que tiene por objetivos: a) divulgar el estado actual y los avances logrados en la producción científica y tecnológica del país; b) promover el intercambio científico con el resto de Latinoamérica a través de la divulgación del quehacer científico y tecnológico de la región; c) estimular el interés del público en relación a la ciencia y la cultura; d) editar una revista periódica que difunda el trabajo de científicos y tecnólogos argentinos, y de toda Latinoamérica, en el campo de las ciencias formales, naturales, sociales y de sus aplicaciones tecnológicas; e) promover, participar y realizar conferencias, encuentros y reuniones de divulgación del trabajo científico y tecnológico del país; f) colaborar y realizar intercambios de información con asociaciones similares de otros países.

Comisión Directiva: Patricio Garrahan (Presidente), Daniel R. Bes (Vicepresidente), Juana Pasquini (Secretaria), Alberto Ridner (Prosecretario), Ernesto E. Maqueda (Tesorero), Olga Dragún (Protesorera), José C. Chiaramonte, Alejandro C. Paladini, Roberto Perazzo, Enrique Segura (Vocales). El mandato de la Comisión Directiva dura de marzo de 1990 a marzo de 1992.

Colaboraron en la realización de este número: Fundación Antorchas, Universidad Nacional de La Plata, Organización de Estados Americanos, Fundación para el Desarrollo Tecnológico.

ISSN 0327-1218. Registro de la Propiedad Intelectual N° 177087.

Fotocomposición de Fototipia Linfotier S.A., Agrelo 3259, Buenos Aires. Fotocromos y películas pluma de Fotocromos Colombia, Bolívar 1753, Buenos Aires. Impresa en la Argentina en Gráfica Super Press S.A., J. Ortega y Gasset 1784/86, Buenos Aires.

USTED NO ES EL UNICO ARGENTINO CON PROBLEMAS



Yaguareté



Tortuga terrestre



Lechuza de los campanarios



Aguará Guazú



Venado de las pampas

Más de cuatrocientas especies de la flora y fauna silvestres argentinas se encuentran en peligro de extinción. Un problema más serio de lo que parece, ya que en muchos casos son plantas y animales que, además de alimentarnos, nos proporcionan medicinas y materias primas indispensables para la elaboración de innumerables productos industriales. Si llegan a desaparecer, alterarían el complejo y delicado sistema ecológico del cual usted, nosotros, todos formamos parte. Es necesario que tomemos conciencia de los muchos peligros que amenazan a las especies de la flora y fauna silvestres argentinas. Y que lo hagamos hoy. Porque, después de todo, los problemas de cada una de ellas son también nuestros problemas.

FUNDACION VIDA SILVESTRE ARGENTINA

De la mano con la naturaleza



Para recibir más información, acérquese a Defensa 245/51, 6° "K", Capital Federal (1065) o llámenos al 30-3778/4806 ó al 331-4864. Organización asociada al Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF).

La Fundación Vida Silvestre Argentina agradece los aportes de la Fundación Antorchas y de la Asociación Ciencia Hoy.

ENTRE PIRÁMIDES Y JAGUARES

Inés Gordillo

Museo Etnográfico
Facultad de Filosofía y Letras,
Universidad de Buenos Aires

En “la Iglesia de los Indios” —como denominan los pobladores de la zona al sitio arqueológico La Rinconada, ubicado en la provincia de Catamarca— existió hacia los siglos VI y VII d. C. un centro ceremonial correspondiente a la llamada “cultura de La Aguada”. Sus particularísimas características, así como la abundancia de material arqueológico allí encontrado, han permitido a los investigadores profundizar el conocimiento de las diversas manifestaciones sociales que ocuparon vastos sectores del Noroeste argentino antes de la llegada de los españoles.



Los Castillos es un pequeño poblado ubicado sobre la falda occidental de la sierra de Balcozna, en el oriente catamarqueño. Desde allí se aprecia claramente el sector septentrional del Valle de Catamarca, en el departamento de Ambato. Hacia el poniente, precedido por la sierra de Humaya, se impone el cordón montañoso de El Manchao-Ambato; al norte, el relieve asciende suavemente hasta los Altos de Singuil y, más lejanos, en esa misma dirección, los Nevados del Aconquija adoptan un contorno tenue y fantasmagórico que se desdibuja cuando las condiciones de visibilidad no son las óptimas. El clima es más húmedo y la vegetación más abundante que en los típicos valles áridos del oeste de la provincia. Las cumbres laterales se cubren de gramíneas, los faldões presentan montes arbustivos, mientras que los bosques de algarrobos, talas, viscotes y otras especies se ven favorecidos por los suelos sueltos y poco arcillosos de las amplias planicies del bajo. A través de éstas, el limitado caudal del río Los Puestos corre, zigzagueante, por cañadones cortados a pique en el relleno del valle.

La población actual de la zona se concentra en pequeños núcleos y se sustenta básicamente con la agricultura y la ganadería en pequeña escala. Para los habitantes del lugar, los restos de antiguas poblaciones son ineludiblemente familiares; vestigios de construcciones prehispánicas y fragmentos de cerámica ricamente decorados con figuras humanas, felínicas y fantásticas forman parte de su paisaje cotidiano, ya que la fertilidad arqueológica de la zona parece inagotable. Allí, dentro de los límites de la estancia La Rinconada, se encuentran los restos conocidos más relevantes de un antiguo centro ceremonial correspondiente a la llamada "cultura de La Aguada", cronológicamente ubicado en los siglos VI y VII d. C. Curiosamente, y por generaciones, los lugareños se refieren a este sitio arqueológico (véase "¿Quién mató al megaterio?", *Ciencia Hoy* N° 2) como a "la Iglesia de los Indios", atribuyéndole una significación que los investigadores comenzaron a descubrir recién en la década de 1970.

Las primeras excavaciones, dirigidas por A. R. González en 1977, arrojaron ya una información significativa. Los datos registrados apuntaban efectivamente a definir el carácter religioso-ceremonial del sitio, en el que aparecen indicios de cruentas prácticas rituales, testimoniadas en las particulares imágenes que pueblan la cerámica Aguada.

Sin embargo, a pesar de la importancia arqueológica que revestía, el proyecto inicial de investigación se vio obstaculizado por diversas circunstancias. Lo mismo había ocurrido con los estudios de O. Heredia y



Foto de la autora

La figura de esta vasija muestra dos personajes: de pie, el sacrificador y en posición horizontal, la víctima. Al centro del grabado, el hacha.

J. A. Pérez Gollán en el área, iniciados en 1973 y lamentablemente interrumpidos unos años después: entre tantas otras cosas, la situación que vivió el país durante la última dictadura militar también afectó gravemente el desarrollo de las investigaciones arqueológicas en el Noroeste argentino.

Gracias a los esfuerzos de González, en 1986 reiniciamos los trabajos en La Rinconada o Iglesia de los Indios, actualmente en curso. Varios aspectos marcan el indiscutible valor de este sitio para el conocimiento de nuestro pasado precolombino. En primer lugar, proporciona datos que permiten aproximarse al patrón de asentamiento Aguada (es decir, a su forma de instalación espacial, tipo de construcciones, materias primas, técnicas, ubicación en el paisaje, etc.), sobre el cual poco se conoce hasta el momento. Por otro lado, brinda información acerca de las relaciones entre Aguada y otras culturas anteriores, ya que se sitúa en un especial momento de transición hacia el llamado período Formativo Medio (véase "La larga historia del Noroeste"), justamente en su foco de origen. Registra así las notables transformaciones sociales y políticas que definen al período aludido y aporta datos sobre la formación de las estructuras de poder relacionadas con la ideología religiosa propia de Aguada.

Jaguas de enormes fauces, personajes disfrazados como felinos y seres imagina-

rios semejantes a dragones han sobrevivido por más de un milenio, dibujados sobre las lustrosas superficies de una cerámica que aparece en la mayor parte del Noroeste argentino y que fue conocida por los especialistas ya hacia fines del siglo XIX. Con posterioridad, se la fue asociando cada vez más estrechamente a determinados patrones de asentamiento poblacional, ciertos centros ceremoniales, una metalurgia muy elaborada y formas particulares de organización social, religiosidad y costumbres funerarias, hasta configurar el concepto de "cultura de La Aguada". Uno de los aspectos más notables de esta "cultura" es su gran dispersión geográfica —que en la prehistoria del Noroeste argentino sólo sería superada por la expansión incaica—: ocupa un amplio territorio que abarca el sur de Salta, el sudoeste de Tucumán, las provincias de Catamarca y La Rioja, y el norte sanjuanino.

Con el paso del tiempo y con la sucesión de los estudios de distintos investigadores, la interpretación sobre La Aguada se fue modificando (véase "De los dragones a la integración regional"). Hoy se cuenta con un enfoque más afinado sobre esta problemática que permite afirmar que La Aguada no es en realidad una cultura extendida sobre una gran región, sino la expresión de un proceso de integración de distintas culturas más antiguas, unificadas en aspectos de organización social y religiosidad, y con

La larga historia del Noroeste

Durante más de ocho milenios, el Noroeste argentino fue habitado por sociedades humanas que, en el transcurso de ese tiempo, experimentaron cambios sustanciales en sus modos de vida.

En virtud de aquéllos, los estudiosos se plantearon diversas secuencias o periodizaciones coincidiendo en diferenciar claramente dos grandes etapas previas a la conquista española.

La primera de ellas es la etapa denominada depredadora, preagrícola o de obtención de alimentos, con economía basada en la caza y en la recolección de productos silvestres.

La segunda es la llamada productora, agroalfarera o de producción de alimentos, durante la cual se desarrollaron la agricultura y la ganadería.

El límite entre ambas se sitúa alrededor del 600 a.C. Luego de una época de transición, se inició el período Formativo (el primero de la segunda etapa). Este globalmente se caracteriza por una opción productiva de tipo agrícola y/o pastoril, complementada con caza y recolección y llevada a cabo por pequeñas comunidades sedentarias, que se diferenciaban entre sí por variables medioambientales e históricas. Aparecen entonces tecnologías novedosas en la región, como la cerámica, la escultura en piedra y la metalurgia.

El Formativo se extiende entre el siglo V a.C. y el XI d.C., amplio lapso en el que se suceden modificaciones socioeconómicas y culturales que permiten distinguir diferentes momentos dentro del período: Inferior, Medio y Superior.

La región arqueológica Valliserrana

comprende los valles del Noroeste, que se extienden desde Jujuy y Catamarca hasta el norte de San Juan. En el sector de Ambato, durante el momento Inferior o Temprano vivieron grupos humanos que hoy conoce la arqueología a través de algunas de sus manifestaciones culturales (cerámica, escultura, costumbres funerarias) y a los que se denomina Condorhuasi, Alamito, Saujil, Ciénaga, entre otros.

La interacción de los mismos llevaría paulatinamente a fenómenos de mayor complejidad sociocultural, en una situación de integración regional (período Formativo Medio) que define el advenimiento de la llamada "cultura de La

Aguada". Es la época de máximo desarrollo tecnológico en la región.

Para mediados del siglo IX se inicia el Formativo Superior que, de algún modo, prefigura ya ciertas características propias del período siguiente, el de Desarrollos Regionales, que comienza hacia el siglo XI y que, a grandes rasgos, se distingue por un proceso de fuerte diferenciación entre las subregiones y por el surgimiento de aldeas fortificadas, en concordancia con un énfasis en los elementos bélicos.

A fines del siglo XV se inicia en la región la penetración incaica proveniente del norte, cuya presencia continuará hasta la llegada de los españoles.

PERIODIZACIÓN DE LA REGIÓN ARQUEOLÓGICA VALLISERRANA

ETAPA	PERIODO	CULTURAS	CRONOLOGIA
Expansión mercantil europea	Colonial	•Colonial	1640 d. C.
	Hispano-indígena	•Caspichango •Cachí-Adentro	1536 d. C.
Agroalfarera o Productora (agrícola-pastoril)	Imperial	•Inca	1480 d. C.
	Desarrollos Regionales	•Santa María •Belén •Humahuaca, etc.	1000 d. C.
		F. Superior	•Hualfin •San José 850 d. C.
	F. Medio (Integración Regional)	•Isla •Alfarcito	600 d. C.
		F. Inferior	•Ciénaga •Condorhuasi •Alamito •Saujil •Tafí, etc.
			600 a. C. (?)
Transición			800 a. C. (?)
Preagrícola o Depredadora (cazadores recolectores)			

manifestaciones locales y grados de desarrollo diferentes según las zonas. Una de estas manifestaciones concretas es la denominada "Aguada de Ambato", con la que se relaciona el sitio La Rinconada.

Un observador inexperto seguramente no sospecharía el valioso contenido arqueológico que encierra La Rinconada, menos aún si espera recibir el impacto visual propio de las ruinas mejor conservadas o "reconstruidas" de épocas más tardías del Noroeste. Aquí, diversos factores culturales y naturales han contribuido a lo largo de más de mil años a un proceso de destrucción; de hecho, definir la estructura edilicia de este antiguo empla-

zamiento es uno de los desafíos que enfrentamos actualmente.

La Rinconada se ubica en las planicies del bajo del valle catamarqueño (que en esta zona se denomina Valle de Ambato), sobre la margen derecha del río Los Puestos y adyacente a sus abruptas barrancas occidentales, cuya erosión atenta en forma progresiva contra la conservación del sitio.

Las antiguas construcciones forman actualmente áreas sobreelevadas y agrupamientos de piedras: de trecho en trecho, asoman paredes de piedra que desaparecen luego desdibujadas, sepultadas por el sedimento, caídas en desmoronamientos o simplemente obedeciendo a su constitución original. En muchos casos se puede regis-

trar con facilidad la planta de los recintos, patios y otras estructuras; pero el empleo combinado de distintos tipos de paredes de barro y piedra hace más difícil la tarea del relevamiento arquitectónico.

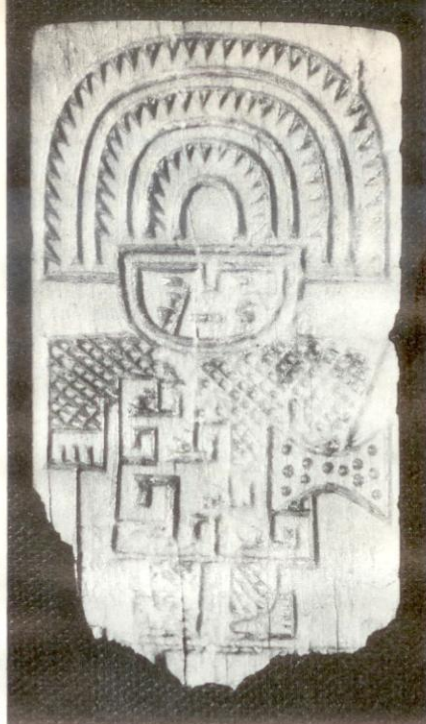
El sitio ocupa una superficie de 130 m por 120 m y configura una gran "U" abierta hacia el oeste, en la que las estructuras se disponen rodeando un amplio espacio libre de construcciones o "plaza" (véase el plano). Las distintas unidades arquitectónicas (recintos, plataformas, patios) muestran una planta rectangular o cuadrangular.

En las ramas este y norte del sitio aparece una serie de habitaciones y patios. Las primeras fueron construidas con paredes de barro que, a intervalos regulares, incluyen co-

lumnas de piedras planas superpuestas, probablemente de eficaz funcionamiento como apoyo de los techos de troncos y paja. Los patios, más grandes, presentan muros dobles y continuos de piedras bien acomodadas. En los sectores que dan hacia la “plaza” hemos distinguido recientemente lo que parecen ser unidades macizas, a manera de terraplenes, con rampas que las conectan salvando los desniveles entre ellas.

La rama sur del emplazamiento está constituida por una estructura de características notables: se trata de un montículo artificial o plataforma de 21 m por 13,5 m, que hoy presenta una altura de más de tres metros. Rodeado por cuatro muros de piedra y rellena con tierra, huesos, cenizas, carbón y abundantes fragmentos de alfarería, tiene dos rampas que posiblemente sirvieron para el acceso: una se extiende 35 m hacia el oeste, y la otra, más corta, se dirige al norte y conecta la plataforma con la “plaza” central.

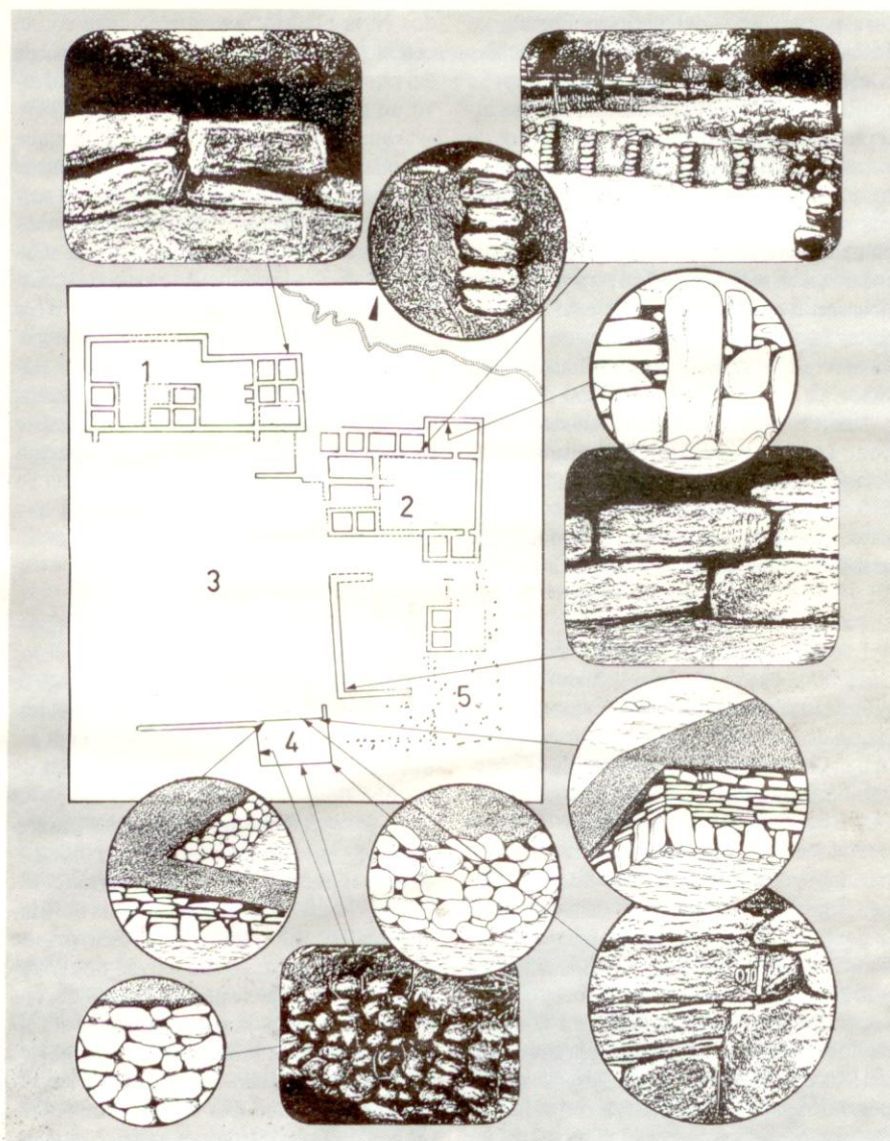
Fotos: Andrés Barragán



Personaje grabado sobre hueso. Obsérvense los detalles de la vestimenta y el tocado.

Esta estructura maciza posee además otra peculiaridad. En el lado norte —justamente el que enfrenta la “plaza”—, el muro y las rampas muestran una sillería construida con piedras planas, regulares, canteadas en los bordes y ensambladas con precisión; su parte inferior está formada por una hilera de lajas verticales coronadas con varias hileras de lajas dispuestas en forma horizontal. Las tres paredes restantes, en cambio, fueron construidas con piedras redondeadas e irregulares, siguiendo una técnica más expeditiva. Parece evidente que en el contexto del funcionamiento de la plataforma resultaba importante el aspecto visual apreciable desde el espacio libre central: el muro frontal y las rampas serían parte de una escenografía que acompañaba el ceremonial público allí desplegado.

Antes de su excavación en 1977, González ya había descubierto en la cumbre de este montículo los restos de dos filas de piedras que debieron de delimitar una plata-



A la izquierda, plano del sitio La Rinconada y detalle de los distintos tipos de paredes observadas en las construcciones del mismo. 1 y 2, sectores residenciales Norte y Este. 3, gran espacio central o plaza. 4, plataforma ceremonial con sus dos rampas de acceso. 5, área del sitio poco definida en su superficie, aún sin relevar. Arriba, detalle de la pared norte de la plaza.

forma superpuesta mayor, otorgando al conjunto de la estructura el aspecto de una pirámide escalonada.

En la rama este del sitio se destaca un gran recinto, cuyas características únicas en cuanto a tamaño, disposición, etc., sugieren una función particular. Lamentablemente, los limitados recursos disponibles para la investigación no permiten avanzar con rapidez en las múltiples tareas de campo necesarias para solucionar ésta y otras cuestiones referentes al funcionamiento, la estructura y la historia de La Rinconada.

La presencia de edificios de carácter público-religioso, de áreas de concurrencia y, por lo general, de sectores residenciales, permite diagnosticar la existencia de un centro ceremonial, más allá de sus dimensiones y grado de desarrollo.



Foto de la autora

Jarra cerámica antropomorfa perteneciente a la llamada cultura Condorhuasi.

En La Rinconada se observan estos rasgos, en particular en cuanto al complejo pirámide-plaza, que lo distingue —además— de otros sitios arqueológicos del área aledaña, con los que comparte, no obstante, las mismas técnicas constructivas y de elaboración de artefactos.

El gran espacio central posiblemente funcionó como lugar de reunión periódica o eventual de la gente procedente de otras instalaciones del valle. En la plataforma se llevarían a cabo las principales prácticas rituales, ante la concurrencia reunida a su pie, y los recintos ubicados al norte y al noreste habrían sido el lugar de residencia de los grupos sociales encargados del culto.

Las características estructurales descriptas corresponden fundamentalmente a la última etapa de la historia del sitio. Pero los datos obtenidos apuntan a plantear una ocu-

pación anterior al momento en que se les dio forma definitiva a la plataforma ceremonial y a otras unidades que aparecen en el registro arqueológico actual. La vista norte de aquella estructura maciza es decididamente distinta a las otras y parece el resultado de una remodelación y ampliación —mediante las cuales se habría modificado el muro con técnicas constructivas más complejas y se habrían agregado las rampas de acceso— correspondientes a una etapa más avanzada de la historia del sitio.

Sin duda, estas u otras transformaciones observables en el sitio estuvieron ligadas a un proceso en el que el ceremonialismo religioso y los segmentos sociales asociados al mismo fueron cobrando importancia y consolidando su poder político.

El estudio de los diversos materiales procedentes del sitio aporta más elementos sobre la dinámica sociotemporal que estamos considerando. El análisis de las muestras cerámicas permitió detectar las modalidades alfareras propias de Aguada, pero también aislar otras pertenecientes a entidades culturales previas —del período Formativo Inferior—, especialmente de las conocidas como Ciénaga, Condorhuasi y Alamito. Se reafirma así el postulado de una intensa interacción sociocultural en los momentos de formación de Aguada en la zona de Ambato, y, en particular, de sus vínculos genéticos con las poblaciones Alamito. La ubicación del material alfarero, su estado y su distribución en cada unidad de excavación nos llevaron a considerar la existencia de distintas fases temporales, dentro de las cuales la cerámica de estilo Aguada hace su aparición ya avanzada la ocupación del sitio.

Las fechas obtenidas por análisis del carbono 14 en los niveles inferiores de la plataforma (Estructura 7), que nos llevan al 570 ± 40 d.C., resultan coherentes con los datos que arroja el análisis ceramológico: ambas fuentes ubican al sitio en los siglos VI y VII d.C. y es probable que su origen sea aun más temprano.

Los restos del techo y de otros materiales quemados que se hallaron sobre el antiguo piso de la vivienda excavada señalan la existencia de incendios, fechados alrededor del 700 d.C. Aún no sabemos si éstos ocurrieron luego del abandono del sitio o si marcan el final de su ocupación. Lo cierto es que vinculados con cráneos humanos destrozados, a los que se suman las condiciones similares registradas en otros sitios de la zona, los incendios hacen pensar en un brusco y violento final para La Rinconada y todo el sistema de asentamientos que integró. La colaboración de Elvira I. Baffi, del laboratorio de Antropología Biológica del Museo Etnográfico de Buenos Aires, nos permitió establecer que dichos restos humanos corresponden a, por lo menos, dos in-

dividuos adultos. Llama la atención el buen estado de conservación de los huesos en contraste con su gran fragmentación, lo que lleva a suponer que esta última fue causada por factores humanos.

Aunque escasos, los restos humanos hallados en la superficie y en la periferia del montículo plataforma indicarían, según González, que en el ceremonial allí celebrado se sacrificaban y mutilaban individuos adultos, práctica usual entre los pueblos Aguada. Apuntan en ese mismo sentido los antecedentes que parecen haber existido en la sociedad Alamito y la práctica de los cráneos-trofeo manifiesta en la iconografía alfarera, hecho consecuente con la separación entre cráneos y esqueletos verificada en los restos humanos del área.

Imágenes como la del sacrificador con sus armas confieren al arte alfarero Aguada un cuento contenido religioso. A él contribuye recurrentemente la figura del jaguar, en peculiar resolución plástica que resalta las fauces abiertas y las garras. Es posible también que los pocos huesos de felino hallados en la plataforma se relacionen con el ceremonial, en el que —según se desprende del arte figurativo Aguada— este animal tuvo un papel protagonista.

Abundantes datos permiten suponer que esa relación mágico-religiosa entre hombre y felino se asociaba con el empleo de sustancias alucinógenas, práctica común a muchas sociedades indígenas americanas en lo que se refiere a la comunicación con el mundo sobrenatural. Apoyan esta hipótesis los hallazgos de fragmentos de pipas y otros recipientes vinculados con el consumo de alucinógenos, así como algunos de los diseños plasmados sobre aquéllos, donde se asiste en sucesivas imágenes a la transformación de un personaje humano —en especial su rostro—, presumiblemente a medida que avanzaban las visiones inducidas por la droga.

Consideraremos ahora el contexto sociocultural en el que la Iglesia de los Indios cobra significado. ¿Cómo se integran los resultados obtenidos en el panorama que actualmente nos brinda la arqueología sobre la historia prehispánica de la zona de Ambato?

La prospección, la recolección de materiales de superficie y los aportes de los estudios de Heredia y Pérez Gollán permiten establecer entre los sitios del área de La Rinconada paralelismos en cuestión de alfarería, técnicas constructivas y otros aspectos, lo que sugiere un cierto grado de contemporaneidad y la pertenencia a un mismo sistema de asentamiento. Si se juzga por la cantidad de instalaciones descubiertas, tuvo que existir una alta densidad de población en la época de la ocupación Aguada.



Escudilla de cerámica negra pulida. A la derecha, la figura humana, que en la escudilla aparece cuatro veces, para mostrar, tal vez, el proceso de transformación provocado por el consumo de alucinógenos.

Desde hace ya un tiempo, se postula el origen de ésta en lo que se conoce como “cultura” Alamito, que se desarrolló algo más al norte, en la zona de Campo del Pucará (Departamento Andalgalá, Catamarca). Allí aparecen, con una antigüedad mayor, algunos tipos cerámicos (en particular el denominado Alumbra Tricolor) que se continúan luego en el área de Ambato, y —principalmente— el tipo de construcción que aparece en La Rinconada: las paredes de barro con columnas de piedras superpuestas. Esta última característica es muy significativa ya que no se la ha encontrado en otros lugares del Noroeste y porque la difusión de rasgos arquitectónicos es relativamente restringida: si la aparición de un tipo de cerámica o de otros objetos puede atribuirse a la simple circulación comercial, las pautas de construcción indican forzosamente modalidades locales.

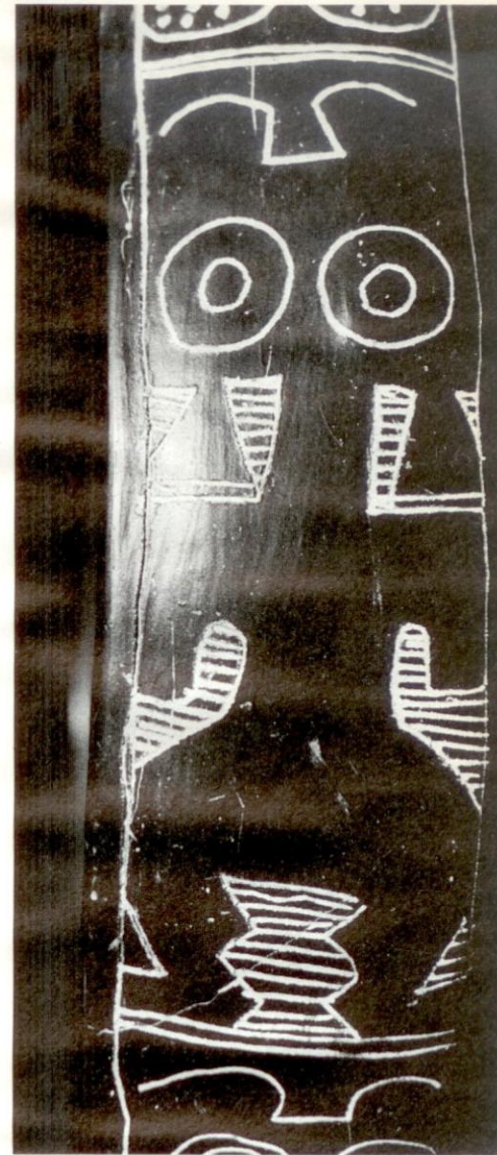
Para explicar estos hechos se considera posible que haya existido una migración desde Campo del Pucará hasta Ambato, teoría que se robustece si tenemos en cuenta que alrededor del 350 d.C. en aquella zona se inició el abandono de instalaciones, que culminó con un total desdoblamiento un siglo después.

La realidad pudo ser bastante compleja: es factible luego una convergencia de poblaciones locales e inmigrantes, cuya interacción provocara o catalizara procesos de cambio. La ocupación Aguada en las partes bajas del Valle de Ambato se relaciona

también con otras entidades culturales del Formativo, especialmente con Ciénaga, cuyos inconfundibles diseños decorativos se reproducen frecuentemente en los fragmentos cerámicos hallados en La Rinconada y otros sitios próximos. Así, Aguada de Ambato se perfila, a partir de un intenso juego interétnico, en la conjunción de variados aportes culturales que se reacomodan y transforman definiendo el tránsito hacia el período Formativo Medio.

El surgimiento de la iconografía Aguada y de la ideología que la sustenta es aún difícil de explicar, aunque la imagen felínica, las prácticas con ella asociadas e, inclusive, las estructuras ceremoniales que le sirvieron de escenario, tienen antecedentes en otras culturas del Noroeste argentino y de los Andes Meridionales. En la actualidad, siguiendo la interpretación de Pérez Gollán, se estima que, en mayor o menor grado, todas ellas participan en un temprano patrón ideológico surandino, cuyas manifestaciones aparecen en distintos momentos y lugares; de este modo se explican las recurrencias temáticas y estilísticas hoy detectadas en zonas muy apartadas entre sí. Con Aguada, tales aspectos cobran especial relevancia sociopolítica, revitalizados y reestructurados por el interjuego cultural que actúa en su base y/o por otros estímulos cuyos mecanismos aún no hemos logrado determinar claramente.

Pero la herencia recibida de Alamito y otras culturas tempranas no alcanza para



entender la especificidad de Aguada de Ambato: en realidad, ésta se define más que nada por sus diferencias con aquello que la antecede. Así, a una misma manera de levantar paredes se opone una diferente modalidad de configurar el espacio habitable, en virtud de un modo también distinto de relacionarse con la naturaleza y de organizarse socialmente. El patrón de asentamiento de Aguada en Ambato es significativamente diferente al de Alamito; en éste, cada sitio arqueológico repite la estructura básica de los demás: debieron de ser, en muchos aspectos, autosuficientes y —según Núñez Regueiro— presentar una organización interna a la manera de una familia extensa. En ese sentido, cada unidad Alamito puede considerarse como un todo. En cambio, en Ambato cada sitio es una parte de una unidad mayor; por consiguiente, el patrón de asentamiento no puede deducirse de la estructura de uno solo de ellos. Como expuso claramente Heredia, las diferencias entre los



Foto de la autora

La imagen de un felino en actitud amenazante puebla característicamente la iconografía Aguada, en estrecha vinculación con la ideología religiosa sustentada por esta cultura.

sitos no responden únicamente a factores cronológicos sino también a funciones distintas y complementarias de cada uno dentro del conjunto, y de los sectores sociales comprometidos en el desarrollo de tales funciones. Estamos, entonces, ante una organización social más compleja, que trasciende los límites de la familia extensa y opera ya en un nivel comunitario. En ella aparecen, al menos en forma incipiente, segmentos sociales menos directamente relacionados con la producción de alimentos y más involucrados en la producción de bienes y “servicios” religiosos. La Iglesia de los Indios y otros centros ceremoniales de la zona evidencian el avance de estos sectores, que debieron de ocupar una jerarquía privilegiada, ligada a la guerra y al poder político.

La fina alfarería Aguada es obra de una especialización artesanal. A pesar de las variantes de este estilo, su calidad y su regularidad técnica, formal y decorativa responden a procedimientos muy elaborados que no pueden ser el resultado de una manufactura familiar. Parece, más bien, la creación de un grupo de artesanos comprometidos

en la producción y en la transmisión estilística de una cerámica puramente ceremonial o religiosa, alfareros habilitados para el manejo de determinados símbolos religiosos. Esta alfarería posiblemente constituía un mecanismo de comunicación de la ideología religiosa y apoyaba la consolidación de las estructuras de poder ligadas con ella.

Para Aguada en general, todos estos aspectos generaron discrepancias sobre el nivel de organización sociopolítica alcanzado: ¿se trataba de complejas tribus multi-comunitarias o de verdaderos señoríos? Según González, la manifestación de un grupo militar dominante, la especialización técnica (particularmente en cerámica y metalurgia) y la presencia de obras arquitectónicas que requieren trabajo colectivo organizado, indican diferencias en el estatus social y en la división del trabajo. La simple organización tribal pudo estar, pues, superada por el señorío o reunión de cierta cantidad de tribus bajo una sola autoridad.

El complejo proceso sociocultural de Ambato parece interrumpirse bruscamente y no existen indicios de ocupaciones posteriores en La Rinconada ni en otros sitios del área. Hasta el momento no podemos explicar el abandono y la destrucción de sus instalaciones: ¿se debieron a conflictos internos, a presiones medioambientales, a ataques externos? Tampoco sabemos qué ocurrió con sus pobladores: si perecieron o si, en cambio, subsistieron y se desplazaron a otras partes. Lo cierto es que para épocas algo más tardías se detectan componentes ideológicos Aguada (principalmente a través de su iconografía y de sus estructuras ceremoniales) en zonas alejadas de un vasto sector del Noroeste de nuestro país. ⊙



LECTURAS SUGERIDAS

- GONZÁLEZ, A. R., 1977, *Arte precolombino en la Argentina*, Filmoeediciones Valero, Buenos Aires.
- GONZÁLEZ, A. R., 1983, “Nota sobre religión y culto en el Noroeste argentino prehispánico. A propósito de unas figuras antropomorfas del Museo de Berlín”, en *Baessler Archiv*, Neue Folge, Band XXXI, Berlin.
- GORDILLO, I. y KUSH, F. M., 1987, “La Aguada: una aproximación iconográfica”, *Revista de Antropología*, N° 3, Buenos Aires.
- PÉREZ GOLLÁN, J. A. y HEREDIA, O., 1975, “Investigaciones arqueológicas en el Departamento de Ambato, provincia de Catamarca”, *Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología*, tomo XI, Buenos Aires.
- PÉREZ GOLLÁN, J. A., 1986, “Iconografía religiosa andina en el NO argentino”, *Boletín del Instituto Francés de Estudios Andinos*, tomo XV (3-4), Lima.

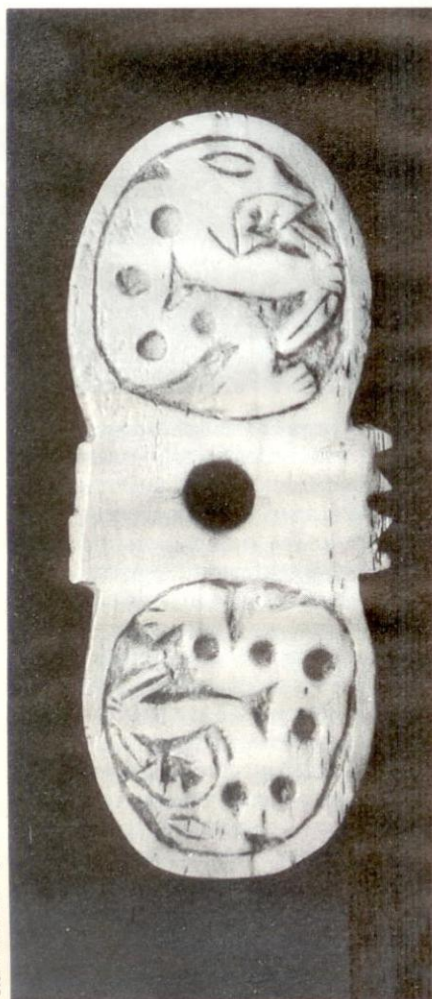


Foto: Andrés Barragán

Instrumento hecho en hueso, posiblemente utilizado para el hilado.



Figurilla humana modelada en arcilla procedente de las excavaciones del interior del montículo.

De los dragones a la integración regional

Hacia fines del siglo XIX, S. L. Quevedo, uno de los pioneros de la antropología argentina, dio a conocer ejemplares de cierta alfarería del Noroeste a la que denominó Draconiana en razón de algunos de sus diseños más característicos. Desde entonces, la misma fue objeto de serias controversias sobre su antigüedad, dispersión, coherencia estilística, carácter de sus figuras, filiación cultural y conexiones con las altas culturas andinas.

Los trabajos de A. Casanova y S. Debenedetti, en los años 30, brindaron un panorama más completo y contextualizado de dicha cerámica. Dejaron de lado la denominación de cultura o estilo “draconiano” (basada exclusivamente en la discutible interpretación de una de sus figuras típicas como la de un dragón) y, en su lugar, hablaron de “cultura de los Barreales”, en directa referencia a los lugares en que se registran sus restos: suelos desnudos y muy erosionados, convertidos en barreales durante las lluvias. En lo temporal, ubicaron correctamente a los pueblos “de los barreales” en un momento anterior al de aquéllos hallados por la conquista española.

La hipótesis de una división interna de dicha cultura en dos entidades cultural y cronológicamente diferenciadas —Ciénaga y Aguada— tomó cuerpo más adelante, a partir de 1955, con las investigaciones de A. R. González en el área, y fue corroborada, en sus trabajos posteriores. Así, una parte de aquellos materiales —“Barreales” o “Draconianos”— se constituye como patrimonio de la “cultura de La Aguada”, caracterizada por un considerable desarrollo tecnológico en alfarería y metalurgia, por la presencia de sitios o estructuras de carácter ceremonial, y por la iconografía alfarera que testimonia el culto al felino y una serie de prácticas bélico-rituales, vinculadas con la imagen del sacrificador, cabezas-trofeo, etc.

En esa época de la investigación arqueológica, que contaba ya con el auxilio de modernas técnicas, se pudo establecer una secuencia cultural y cronológica sobre la etapa agroalfarera del Noroeste argentino. En la subárea o región arqueológica Valliserrana, La Aguada correspondía a un momento en que se registraban influencias iconográficas Tiwanaku, del altiplano boliviano, y constituía un verdadero jalón cultural

Ejemplar de cerámica Ambato Tricolor derivada de Alumbreira Tricolor, tipo que corresponde a la “cultura” Alamito.



Colección Rosso. Foto de la autora

dentro de la periodización establecida, al marcar el advenimiento del período Formativo Medio, cronológicamente definido entre el 650 y el 850 ó 900 d.C.

A medida que avanzaban las investigaciones, resultaba cada vez más evidente la variabilidad espacial de La Aguada. González propuso, entonces, tres sectores geográficos correspondientes a esa extendida cultura que, según las zonas, mostraba características peculiares. Luego, incluso, fue más allá y los consideró como tres culturas, diferenciadas espacial y temporalmente, que compartían un arte simbólico de carácter religioso.

Actualmente, a la luz que arrojan nuevos estudios y siguiendo los cambios en la teoría arqueológica, se cuestiona el concepto de “cultura” con que se ha calificado a La Aguada. Tal vez existan ahora más interrogantes, pero estamos en condiciones de formularlos sobre la base de datos y variables que antes desconocíamos. Hay coincidencia en definir al Formativo Medio o Aguada como un “Período de Integración Regional”. Según reciente caracterización de V. Núñez Regueiro, La Aguada no es una cultura extendida sobre una vasta zona, sino la expresión de un proceso de integración de distintas culturas propias de un período anterior —el Formativo Inferior—, con un denominador común en sus aspectos superestructurales, de organización social y religiosidad. Es por eso que en distintas zonas hay manifestaciones concretas diferentes, de acuerdo

con los antecedentes históricos y culturales de cada una. De la misma forma, el nivel de organización social puede alcanzar distintos grados de desarrollo local.

Hoy se agregan los estudios paleoambientales que, aunque aún poco desarrollados, permiten evaluar el papel fundamental de los cambios ecológicos en la dinámica cultural del Noroeste argentino. Estudios de A. Cardich sobre las fluctuaciones climáticas en los Andes Centrales revelan un ciclo de clima frío, iniciado alrededor del 500 d.C., que habría obligado a los pueblos Tiwanaku-Wari del altiplano boliviano a desplazarse o expandirse hacia zonas más bajas, influyendo sobre el norte de Chile e, indirectamente, sobre nuestro Noroeste.

Las variaciones térmicas registradas por Cardich, en particular, el ciclo frío entre el 500 y el 1000 d.C., podrían proyectarse tentativamente en nuestra área de estudio. Observamos que, a diferencia de otros períodos, durante el correspondiente a Aguada se ocuparon preferencialmente las zonas bajas, en especial las planicies del fondo de los valles, en las márgenes de los ríos —muchas de ellas hoy barreales, pero hasta no hace mucho tiempo cubiertas por algarrobales—.

Por otro lado, las investigaciones realizadas en el valle de Ambato revelan que allí hubo una temprana ocupación Aguada, previa a la de otras zonas; sería, pues, el posible escenario del origen de dicha entidad cultural.



ADN

una molécula maravillosa

Néstor O. Bianchi

Instituto Multidisciplinario de Biología Celular
CIC - CONICET

Hasta 1944 no se sospechaba que el ácido desoxirribonucleico, ADN, fuera la molécula capaz de asegurar la transmisión de los caracteres hereditarios de célula a célula, generación tras generación. Su limitada variedad química no permitía suponer que poseyera la versatilidad y ductilidad necesarias para almacenar la información genética de los seres vivos.

No fue entonces sin asombro que a partir de ese año el ADN se convirtió en centro de interés de la biología. Hoy sabemos que esta molécula, capaz de autoduplicarse y transmitir así su información, es una estructura dinámica y cambiante.

Los avances logrados en el estudio de sus formas auguran un tiempo en el que se pueda comprender mejor su arquitectura y topología y la manera en que los microcambios moleculares provocan macrocambios en el funcionamiento genético.

Quizá todo comenzó cuando alguno de nuestros primitivos antecesores, descansando tras un duro día de caza, observaba distraídamente un conjunto de guanacos o de caballos salvajes y consideraba el hecho de que de una pareja de caballos sólo nacen caballos y de una pareja de guanacos sólo nacen guanacos... El reconocimiento de la herencia ha de haber sido, muy probablemente, una de las primeras ideas científicas aprehendidas por el hombre. Sin embargo, hasta después de pasada la primera mitad de nuestro siglo no se sabía con certeza dónde se almacenaba ni cómo se transmitía de célula a célula y del individuo a su descendencia la información hereditaria.

Han pasado más de treinta años desde que J. D. Watson y F. H. Crick, eligiendo los datos más relevantes de un cúmulo de información y jugando con recortes de cartón y modelos de alambre y metal, fueron capaces de develar la estructura de la doble hélice de la molécula del ácido desoxirribonucleico, ADN, y formularon los principios de almacenamiento y transmisión de la información hereditaria. Este hallazgo les valió el premio Nobel, que compartieron con M. H. F. Wilkins.

Los libros *The Double Helix* de Watson, y *The Eight Day of Creation* de Freeland Judson describen en detalle la historia del descubrimiento, la personalidad de sus protagonistas, el sabor amargo de las frustra-

ciones y la alegría del éxito. El develado de la estructura del ADN se debió más al ingenio que al trabajo; fue el triunfo de la cigarra sobre la hormiga. Fue, sobre todo, el comienzo de una apasionante historia que llega a nuestros días poblada aún de sorpresas y problemas por resolver. En la presente revisión nos referiremos a algunas de las particularidades estructurales de esta maravillosa molécula a la que las primeras décadas de nuestro siglo, aun cuando se conocía ya entonces su vinculación con los cromosomas y genes, consideraron demasiado simple como para otorgarle una función esencial en la transmisión de los caracteres hereditarios.

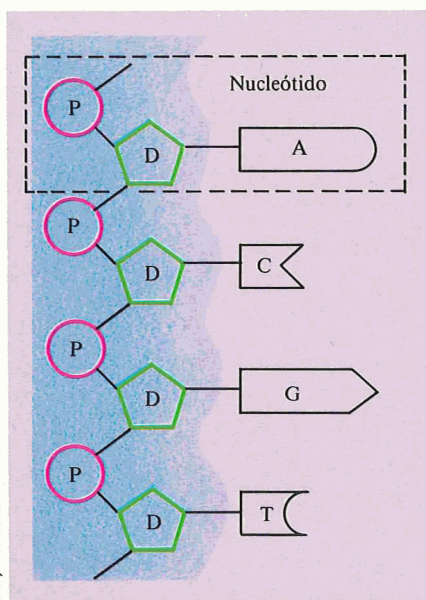


Fig. 1. Representación esquemática de cuatro eslabones de una cadena de nucleótidos. Cada nucleótido consta de un grupo fosfato (P), un azúcar (D) y alguna de las cuatro bases nitrogenadas, adenina (A), citosina (C), guanina (G) y timina (T).

La macromolécula de ADN está constituida por dos cadenas de nucleótidos complementarias. Como puede verse en la figura 1, los nucleótidos, que están formados por la unión de un grupo fosfato (ácido fosfórico), un azúcar (la molécula pentosa 2-desoxi-D-ribosa) y una base nitrogenada, se encadenan entre sí mediante la unión del azúcar de uno de ellos con el azúcar del contiguo a través del fosfato. El grupo fosfato y la desoxirribosa constituyen una suerte de columna vertebral que sirve de sostén a bases nitrogenadas de cuatro tipos diferentes; dos de ellas —la adenina (A) y la guanina (G)— son púricas, con estructura en doble anillo, las otras dos —la citosina (C) y la timina (T)— son pirimídicas, con estructura en anillo simple.

La figura 2 muestra cómo se organizan los componentes químicos de cuatro eslabones de una molécula de ADN y al mismo tiempo presenta la estructura de las cuatro bases nitrogenadas; éstas se orientan hacia las bases de la cadena complementaria con la que se ligan por medio de puentes de hidrógeno. La estructura de las bases es de tal naturaleza que la G sólo se une con la C (lo hace por medio de tres puentes hidrogenados) y la A con la T (lo hace por medio de dos de tales puentes). Esto significa que mientras la secuencia de bases de una de las cadenas no responde, en principio, a ningún orden preestablecido, el orden de las bases de la segunda estará fatalmente determinado por la primera. Al diseñar las figuras 1 y 2, que sólo presentan eslabones de una cadena, hemos elegido libremente

el orden de las bases, pero si el lector deseara construir ahora los eslabones correspondientes de la otra cadena, advertiría el carácter obligatorio de la secuencia de bases. Esta obligatoriedad constituye el fundamento del sistema de transmisión de la información genética. En efecto, la duplicación del ADN supone, primero, la separación de las dos cadenas mediante mecanismos enzimáticos y luego, a causa del carácter obligatorio o complementario del apareamiento de bases, la síntesis enzimática de una cadena idéntica a aquella de la que se separó. Esta fidelidad de la duplicación asegura que la información genética contenida en esa molécula de ADN se transmita fielmente, sin cambios, de célula a célula, generación tras generación.

Las cadenas poliméricas complementarias se presentan como una doble hélice o espiral determinada por dos hebras —las columnas vertebrales constituidas por azúcares y fosfatos— que se enrollan en forma paralela alrededor de un eje imaginario a la manera de una escalera caracol. Esta disposición se denomina plectonémica. Escalones de la metafórica escalera serían los pares de bases unidas por puentes de hidrógeno (véase la figura 3).

En el caso del ADN más frecuente, el de tipo B, el ancho de la doble hélice es de 20 Å (Å = Angstrom = 1/10.000.000 mm). Cada vuelta entera de la hélice tiene una longitud de 34 Å y la distancia entre dos pares de nucleótidos sucesivos es de 3,4 Å, de manera que se necesitan 10 pares de bases para

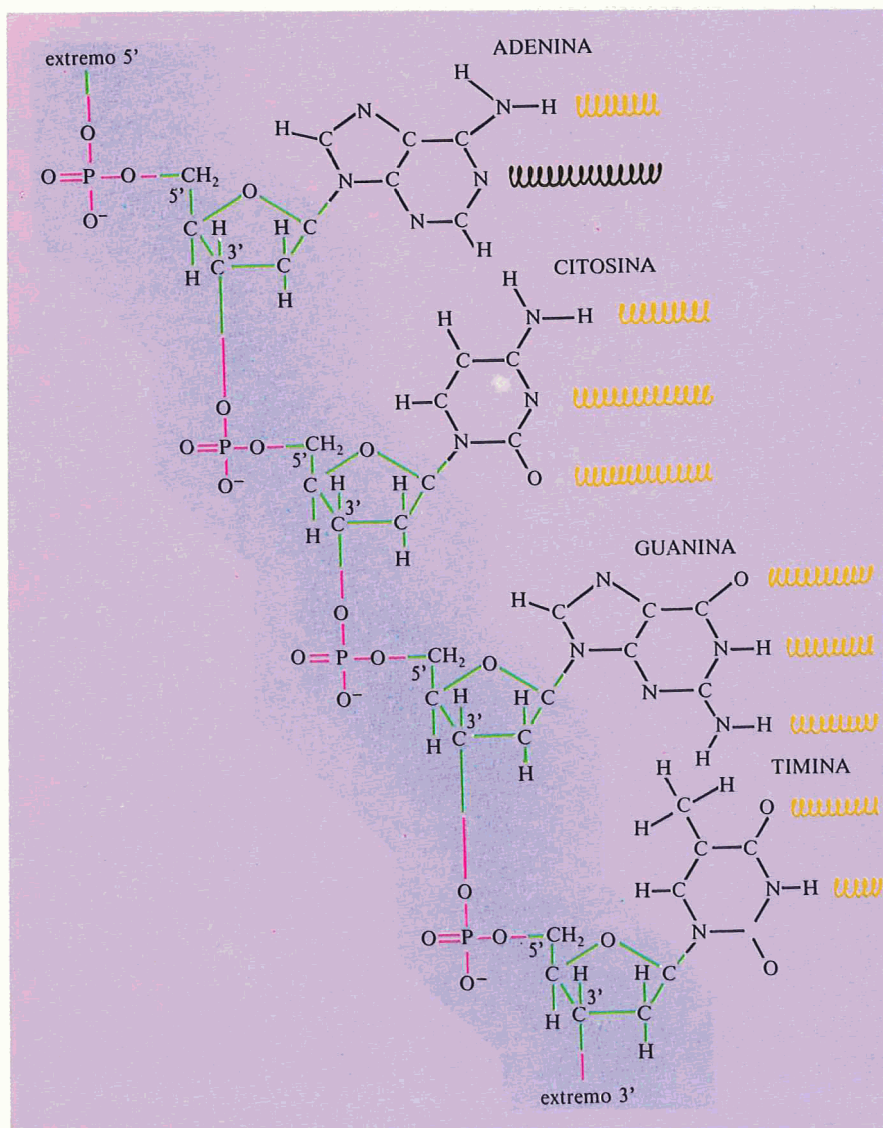


Fig. 2. Distribución de los componentes químicos de la cadena esquematizada en la figura 1. El grupo fosfato (rojo) y el azúcar (verde) constituyen la "columna vertebral" de la macromolécula (sombreado celeste). Los fosfatos ligan el carbono 5' de la desoxirribosa de un nucleótido con el carbono 3' de la adyacente. La información genética se codifica a través de secuencia de las cuatro bases nitrogenadas que se muestran en la figura (negro). El sombreado amarillo indica los puentes de hidrógeno que unirán dos cadenas complementarias.

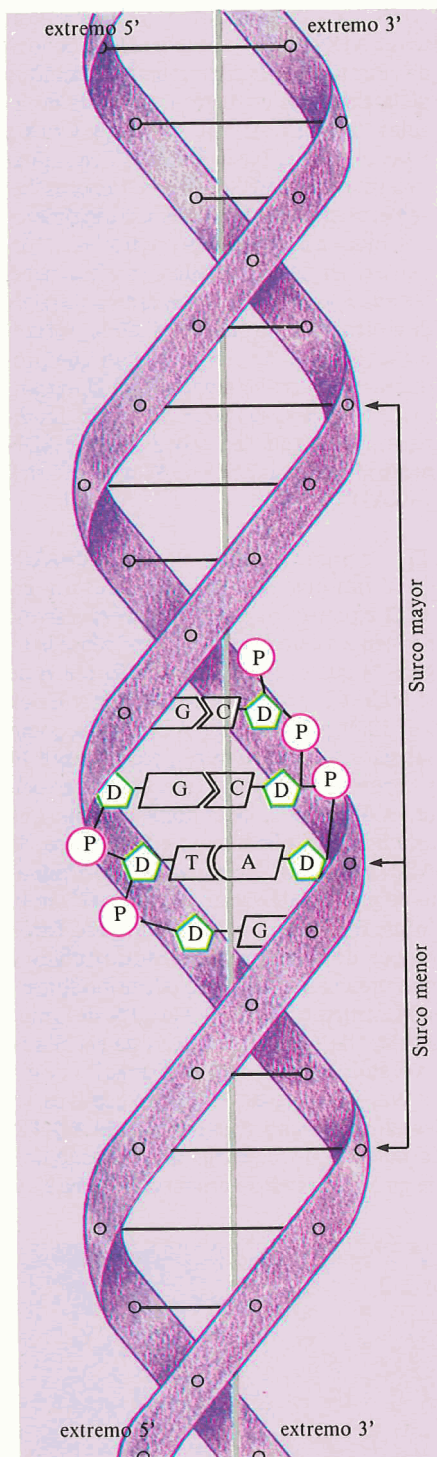


Fig. 3. Esquema indicativo de la manera en que dos cadenas complementarias de nucleótidos se unen y adoptan la forma de doble hélice típica de la macromolécula de ADN.

completar un giro completo de la hélice. Asimismo, el sentido de giro se corresponde con el de las agujas del reloj (sentido horario).

Como puede verse en la figura 2, los nucleótidos se unen mediante los fosfatos que conectan el carbono en la posición 5' de una pentosa con el carbono en la posición 3' de la adyacente. Estas uniones 5'-3' determi-

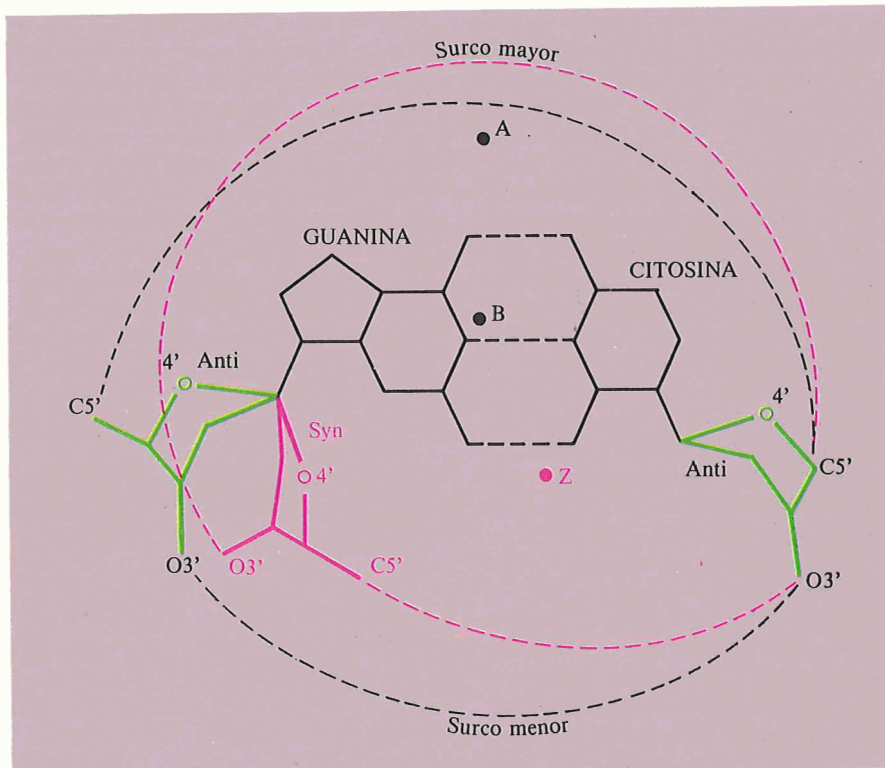


Fig. 4. Unión complementaria de un par de bases G y C visto desde el extremo superior del eje vertical de la doble hélice. La conformación *anti* de las pentosas es característica de las formas A y B del ADN. Las conformaciones *anti* de la C y *syn* de la G son características de la forma Z. Se señalan los puntos por donde pasa el eje de la doble hélice en las formas A, B y Z.

nan la direccionalidad de las cadenas. La figura 3 nos permite advertir con claridad que la dirección del extremo 5' al extremo 3' de las dos cadenas complementarias es opuesta, antipolar o antiparalela. Puede observarse también la presencia de un surco mayor y un surco menor formados por los giros de la espiral plectonémica.

El ADN presenta tres organizaciones espaciales diferentes, todas ellas con forma de hélice, a las que se ha denominado A, B y Z. La figura 4 muestra, en el caso de las bases complementarias G-C, por dónde pasa el eje imaginario de la hélice en cada uno de estos tres tipos de ADN. Como puede observarse, la ubicación del eje modifica la profundidad de los surcos mayor y menor. Esta misma figura nos ilustra acerca de cómo pueden situarse las pentosas de manera que los carbonos en posición 4' y 5' se orienten hacia el surco mayor (forma *anti*) o hacia el surco menor (forma *syn*). Estas orientaciones caracterizan a los distintos tipos de ADN, pues mientras las pentosas de las formas A y B se ubican según una modalidad *anti*, la forma Z presenta a la pentosa de la base C en posición *anti* y a la de la base G en posición *syn*, hecho que, como luego veremos, determina su forma peculiar.

Por lo general, el ADN se presenta bajo la forma B, pero ya Watson y Crick obser-

varon que en condiciones de moderada deshidratación podía adoptar la organización espacial A. En este caso se requieren 11 pares de bases para la ejecución de un giro completo de la hélice, lo cual determina una forma ligeramente "subenrollada" con respecto a la que presenta el tipo B. Asimismo, como indica la figura 4, debido al desplazamiento de los pares de bases en relación al eje longitudinal de la hélice, el tipo A manifiesta una marcada diferencia entre sus surcos (el mayor es mucho más profundo que el menor), distinción que en el tipo B no resulta particularmente notable. El ADN de tipo Z, del que luego nos ocuparemos en detalle, se diferencia más de las formas A y B que éstas entre sí.

Watson y Crick describieron el modelo de las formas A y B del ADN mediante la interpretación de fotografías de difracción de rayos X obtenidas de fibras de ADN nativo, es decir, extraído de células. Sin embargo, la magnitud de la información que puede obtenerse de este tipo de estudios es limitada, debido a que las fibras de ADN son extremadamente largas, no cristalizan y habitualmente presentan un cierto desorden estructural. El método, a lo sumo, permite establecer la estructura de un ADN promedio o estadístico, el cual no necesariamente representa la estructura de las diferentes regiones de ADN A o B existentes en la naturaleza. Cualquier variación local de estruc-

tura que pueda resultar de una secuencia particular de bases, pasará inadvertida al analizar la difracción de rayos X inducida por una larga fibra de ADN. Resulta claro, entonces, que los ADN A y B de Watson y Crick son macromoléculas "abstractas" que representan el promedio de un conjunto de variantes moleculares que se suceden a lo largo de la cadena. El análisis estructural de estas variantes sólo ha sido posible en los últimos años, gracias al advenimiento de métodos eficaces para sintetizar cadenas muy cortas de ADN que se denominan oligómeros. Estas cadenas poseen entre 4 y 24 pares de bases cuya secuencia ha sido predeterminada por el investigador. Los oligómeros cristalizan con facilidad y, por lo tanto, cuando se los somete a difracción de rayos X, proveen una información que permite la reconstrucción espacial fidedigna de su estructura. Si además se desea saber cómo sería la arquitectura de una larga fibra de ADN formada por un gran número de repeticiones del oligómero, pueden suministrarse los datos moleculares del mismo a una computadora, la cual se encarga de simular un modelo espacial con tantas repeticiones como se le ordene.

A fines de la década del 70 se iniciaron las investigaciones destinadas a develar la arquitectura de distintas secuencias de ADN de los tipos A y B. Así, en 1979, Wang sintetizó y analizó el hexámero CGCGCG y Drew el tetrámero CGCG (la notación convencional de una secuencia de bases de ADN de doble cadena consiste en citar las bases de una cadena leída del extremo 5' al extremo 3'). Con gran sorpresa pudo observarse que ninguno de estos oligómeros mostraba una estructura acorde con las dos formas conocidas de

ADN. En efecto, la arquitectura de estas secuencias mostraba un giro de la doble hélice en sentido antihorario, y una peculiar conformación en zig-zag de las cadenas de fosfato-azúcar. Debido a este recorrido zig-zagueante, la nueva forma recibió el nombre de ADN Z (véase la figura 5). Una de las características relevantes del polímero Z es la conformación de sus surcos mayor y menor: el primero prácticamente no existe, el segundo es profundo y cavernoso. Esta configuración es exactamente opuesta a la del ADN A, y si observamos una vez más la figura 4 advertiremos la razón: los pares de bases de uno y otro se encuentran desplazados en relación a los ejes de las respectivas hélices de manera opuesta.

La síntesis artificial de nuevos oligómeros permitió obtener las ya conocidas formas A y B del ADN y demostró que la forma Z sólo aparece cuando existen secuencias de pares de bases donde alternan las C con las G o viceversa. Como ya señalamos y vimos, además, en la figura 4, las pentosas están habitualmente unidas a las bases en la forma *anti*, con sus carbonos 4' y 5' incluidos en el surco mayor. La base G tiene la particularidad de presentar tanto la forma *anti* como la forma *syn* de unión con la pentosa; en este último caso, los carbonos 4' y 5' están incluidos en el surco menor. Así, en una secuencia CGCG... (o viceversa) en la que las pentosas de la guanina se hallen en posición *syn*, se producirá una alternancia de formas *anti* y *syn* en la columna vertebral de pentosas-fosfatos que dará lugar a la configuración en zig-zag y al enrollamiento antihorario de la doble hélice, es decir, a la forma Z.

El descubrimiento del ADN Z fue inesperado y se debió al uso de oligómeros sintéticos para el estudio de la biofísica del

ADN. La síntesis de nuevas secuencias cortas de ADN permitió obtener las ya conocidas formas A y B y determinar la magnitud de la variación estructural entre las moléculas "estadísticas" de Watson y Crick y éstas a las que bien podemos denominar "realistas". En efecto, estos tetrámeros, hexámeros, dodecámeros y demás oligómeros obtenidos artificialmente, reproducen formas existentes en la célula viva e ilustran el hecho de que a lo largo de la cadena de ADN de un cromosoma pueden existir importantes variaciones de conformación que producen una microheterogeneidad topográfica. Hemos de considerar, entonces, las diferencias que pueden existir entre el ADN promedio o estadístico de Watson y Crick y el ADN real.

La rotación de la doble cadena de ADN implica la existencia de un giro entre dos pares de bases sucesivos. Se forma así un ángulo de giro (véase la figura 6) que es de 36° para la forma B de la molécula promedio de Watson y Crick y de $32,7^\circ$ para la forma A dado que, como sabemos, se necesitan respectivamente 10 y 11 pares de bases para completar una vuelta, es decir 360° , de la doble cadena. Los estudios con oligómeros cristalizados de ADN muestran, sin embargo, que el ángulo de giro puede variar de 28° a 42° en la forma B y de 16° a 44° en la forma A. Estos rangos de variación son considerables y muestran hasta qué punto puede modificarse la estructura del ADN a lo largo de la molécula. Dado que la forma Z está enrollada en sentido antihorario, a los ángulos de giro entre dos pares de bases sucesivos se les adjudica signo negativo: para el ADN Z formado por secuencias GC, los ángulos de giro observados varían entre $-52,9^\circ$ y

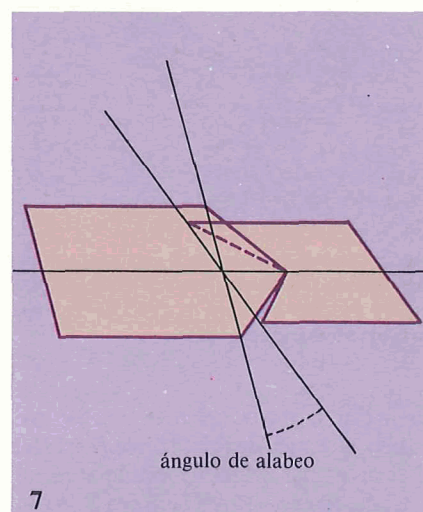
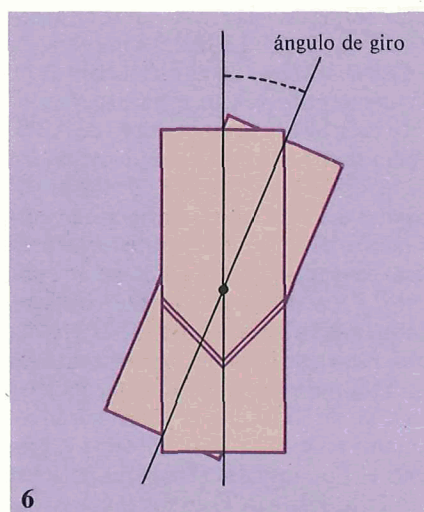
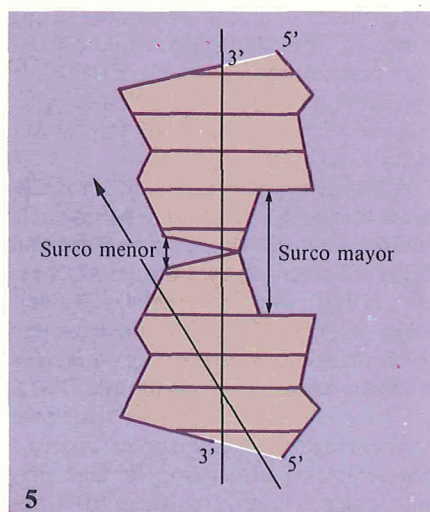


Fig. 5. Esquema de la forma Z del ADN. Esta variedad se origina por la alternancia *syn*, *anti* de sucesivos pares de bases CG. La flecha indica el giro hacia la izquierda de la hélice. La línea vertical muestra el eje de la cadena. Fig. 6. Dos pares de bases complementarias consecutivos son observados en la dirección del eje de la doble hélice. El giro de los ejes longitudinales de dos pares de bases consecutivos define el ángulo de giro. Fig. 7. El giro relativo entre los planos de unión de las bases complementarias púrica y pirimidica define el ángulo de alabeo.

EL LENGUAJE DE LA VIDA

El ADN, que posee toda la información genética necesaria para el funcionamiento de una célula, se aloja en el núcleo celular; por otra parte, la síntesis de las diferentes proteínas y enzimas (síntesis que resulta de las órdenes recibidas desde el ADN) ocurre en el citoplasma de la célula. El ácido ribonucleico o ARN mensajero (ARNm) es el encargado de transportar la información desde el núcleo hasta el citoplasma ya que por medio de un proceso llamado de transcripción copia en sus propias bases la información contenida en el ADN. Cabe preguntarse, entonces, de qué manera las cuatro bases del ARNm (adenina, A; citosina, C; guanina, G; uracilo, U) representan a los veinte aminoácidos que forman las proteínas y cómo está preestablecido en el ARNm el orden en el cual deberán ubicarse dichos aminoácidos en las cadenas peptídicas (los aminoácidos se unen mediante enlaces llamados peptídicos) para que pueda producirse la síntesis de las diferentes proteínas y enzimas del organismo.

Con el fin de contestar estas preguntas imaginémosnos un sistema alfabético en el cual las cuatro bases son letras y los veinte aminoácidos, palabras. Además, permitámonos la licencia de aceptar que todas las palabras están representadas por un mismo número de letras. En un sistema de este tipo, si las palabras estuvieran constituidas por una única letra, solamente se podrían obtener cuatro palabras diferentes (una por cada base). Dos letras por palabra permitirían formar $4^2 = 16$ palabras (2 representa el número de letras por palabra y 4 el número de letras del alfabeto). Si utilizáramos tres letras, obtendríamos $4^3 = 64$ palabras distintas, y con series de cuatro letras la cantidad de palabras posibles sería $4^4 = 256$. Teniendo en cuenta que solamente necesitamos 20 palabras distintas, una por aminoácido, el sistema de tres letras por palabra satisface con creces nuestros requerimientos. En efecto, actualmente se acepta que cada uno de los veinte aminoácidos está representado en la cadena de los ácidos nucleicos por una secuencia de tres bases (tripletes).

Con el sistema alfabético empleado hemos podido contestar la primera de las preguntas que nos formuláramos, de manera que ahora sabemos cómo cuatro bases (letras) pueden representar a veinte aminoácidos (palabras). Responder a la segunda cuestión —cómo está preestablecido en el ARNm el orden en el cual se ubicarán los aminoácidos en la cade-

na peptídica para dar origen a las diferentes proteínas— obliga a determinar, en primer lugar, de qué manera, dada una sucesión de letras, se identifican los tripletes que designan a cada uno de los aminoácidos.

Podríamos pensar en recurrir a un sistema de tripletes de letras superpuestas (a partir, por ejemplo, de la sucesión AMARO, los tripletes posibles comenzarían con cada una de las letras de la serie: AMA, MAR, ARO), pero por tratarse de una opción en la que cada una de las palabras debe utilizar las dos últimas letras de la palabra anterior, se produce una limitación que no condice con la flexibilidad exigida por la gran variedad de proteínas que se deben codificar.

Un sistema de tripletes constituido por los sucesivos grupos de tres letras de la serie (por ejemplo, AMAMASQUEANA = AMA MAS QUE·ANA) resulta un modelo adecuado pues admite gran variedad de frases. Sin embargo, presenta el inconveniente de que al colocar dichas frases una tras otra sería difícil determinar cuáles son las palabras con las que comienza y termina cada una de ellas (por ejemplo, PAN CON SAL AMA MAS QUE ANA

ESE REY). El problema se solucionaría colocando al final de cada frase una señal que sirviera como signo de puntuación (PAN CONSAL XXX AMA MAS QUE ANA XXX ESE REY XXX).

En efecto, éste es el sistema: un gen está formado por una secuencia de tripletes correspondientes a los aminoácidos de una cadena peptídica y por un triplete que no corresponde a ningún aminoácido y tiene por función indicar su fin. Vale decir que actúa como sistema de puntuación.

Hasta aquí hemos analizado el aspecto teórico del código genético. En la tabla adjunta se indican las bases que forman los tripletes representativos de cada aminoácido. Ella muestra que varios tripletes pueden representar un mismo aminoácido; debido a este fenómeno se califica al código genético como "degenerado". En los casos en que varios tripletes corresponden a un aminoácido, la base que habitualmente varía es la tercera y con menos frecuencia, la primera; la segunda base, en cambio, es constante. Los tripletes identificados con las letras CT ("chain terminator" = terminador de cadena) son los tripletes que cumplen funciones de puntuación.

UUU	Phe	UCU	Ser	UAU	Tyr	UGU	Cys
UUC		UUC		UAC		UGC	
UUA	Leu	UCA	Pro	UAA	CT	UGA	CT
UUG		UCG		UAG		UGG	
CUU	Leu	CCU	Thr	CAU	His	CGU	Arg
CUC		CCC		CAC		CGC	
CUA	Ilu	CCA	Ala	CAA	Gln	CGA	Ser
CUG		CCG		CAG		CGG	
AUU	Ilu	ACU	Lys	AAU	Asn	AGU	Arg
AUC		ACC		AAC		AGC	
AUA	Met	ACA	Asp	AAA	Lys	AGA	Gly
AUG		ACG		AAG		AGG	
GUU	Val	GCU	Glu	GAU	Asp	GGU	
GUC		GCC		GAC		GGC	
GUA		GCA		GAA		GGA	
GUG		GCG		GAG		GGG	

Código genético. Tripletes y aminoácidos codificados: Phe = fenilalanina; Leu = leucina; Ilu = isoleucina; Met = metionina; Val = valina; Ser = serina; Pro = prolina; Thr = treonina; Ala = alanina; Tyr = tirosina; His = histidina; Gln = glutamina; Asn = asparagina; Lys = lisina; Asp = ácido aspártico; Glu = ácido glutámico; Cys = cistina; Trp = triptofano; Arg = arginina; Gly = glicina; CT = terminador de cadena.

-49,7°, mientras que en el caso de secuencias CG lo hacen entre -9,6° y -7,4°.

Con respecto a la distancia entre dos pares de nucleótidos sucesivos cabe señalar que se han registrado importantes variaciones; por ejemplo en el caso de la forma B dicha distancia varía hasta un 13% alrededor del valor promedio de 3,4 Å que se ha indicado anteriormente.

Otro de los parámetros biofísicos variable es el ángulo de alabeo. En todo par de bases complementarias, éstas se encuentran giradas una con respecto de la otra a lo largo del eje longitudinal del par. El ángulo de alabeo es el que resulta de este giro (véase la figura 7) y registra variaciones en los rangos de 9,2° a 21,6°, de 6,9° a 16,5° y de 1,6° a 7,2° para las formas A, B y Z respectivamente.

Las consideraciones anteriores ilustran el grado de heterogeneidad estructural que puede existir a lo largo de una cadena de ADN. Además de los parámetros biofísicos aquí considerados, existen muchos otros que son de utilidad para cuantificar las variaciones del ADN. Para el lector interesado, recomendamos los trabajos de R. Dickerson y de W. Saenger que se citan en la bibliografía.

En condiciones normales de hidratación, la forma predominante de ADN es la B, pero en circunstancias especiales esta forma puede transformarse en A o Z y éstas, a su vez, pueden reconvertirse en B o interconvertirse entre sí. El pasaje de una forma a la otra se hace muy rápidamente, en especial el cambio de B a A, que ocurre en fracciones de segundo.

La transformación del ADN B en A se produce en condiciones de moderado descenso de humedad relativa. Por encima del 92% de humedad todo el ADN tiene la forma B, pero tan pronto como la humedad relativa desciende al 80-83%, comienza la transición en algunas de sus regiones. Finalmente, a un 75% de humedad relativa, la mayor parte de la molécula se encuentra como forma A (sin embargo, aun en estos bajos niveles de humedad, aquellas regiones muy ricas en pares de bases AT son capaces de persistir como forma B). Según Dickerson, la caída en los niveles de humedad relativa produciría una deficiencia de moléculas de agua en el surco menor del ADN mientras que persistiría un nivel adecuado de hidratación tanto en el surco mayor como en la cadena de fosfatopentosas. La consecuencia de esta situación sería la pérdida

de profundidad del surco menor, el aumento de profundidad del surco mayor y la adopción de la forma A.

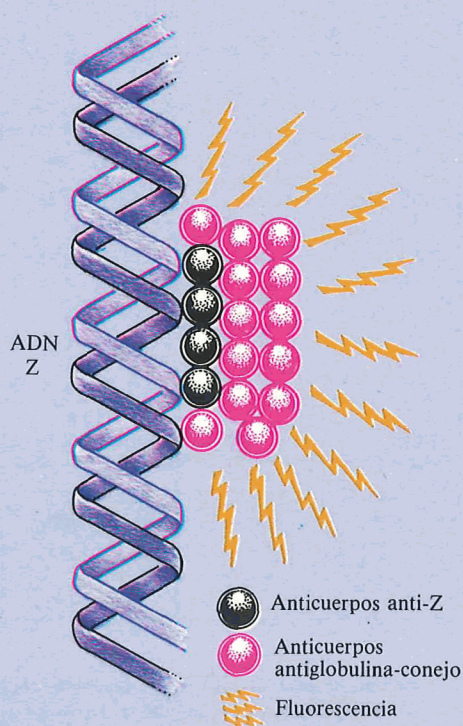
El pasaje a la forma Z ocurre en presencia de soluciones salinas (por ejemplo de cloruro de sodio o cloruro de magnesio) de alta concentración. Cuando una secuencia repetida de tipo CG (o GC) adopta la forma Z, existe una marcada cercanía entre los fosfatos de las dos cadenas complementarias, y como estos fosfatos poseen cargas negativas tienden a repelerse y producen una resistencia a la formación del ADN Z. Ahora bien, si existen suficientes cationes (cargas positivas) disueltos, éstos se asocian con los fosfatos, neutralizan sus cargas e inducen así la aparición de la forma Z.

Es evidente que la célula viva no presenta condiciones de humedad relativa baja o de alta salinidad, por lo tanto, si las formas de ADN A y Z sólo existieran en las circunstancias antes descritas, tendrían interés biofísico pero carecerían de importancia biológica. Sin embargo, ha sido probado que ambas formas aparecen en la célula viva. Consideremos, por ejemplo, qué es lo que sucede durante el proceso de transcripción de la información genética del ADN

ADN Z: SU DETECCIÓN EN LA CÉLULA VIVA

El lupus eritematoso sistémico es una enfermedad del ser humano por cuya causa los pacientes producen anticuerpos contra su propio ADN, hecho que se traduce en daño nuclear e incremento de la mortalidad celular. De manera similar, la cepa del ratón MRL/1pr reproduce una forma severa de lupus con anticuerpos anti-ADN equivalentes a los hallados en el ser humano. El análisis de estos anticuerpos muestra que una parte de ellos reacciona con el ADN Z, lo cual indica que la célula viva posee ADN Z capaz de actuar como antígeno, es decir de producir anticuerpos contra sí mismo.

La potencialidad antigénica del ADN Z es de utilidad para localizar su presencia en los cromosomas. Si se lo inyecta a conejos, es posible obtener anticuerpos anti-Z. Cuando estos anticuerpos se ponen en contacto con preparaciones cromosómicas, se produce una unión de los mismos con las regiones que presentan forma Z. En una segunda etapa, se emplean anticuerpos fluorescentes antiglobulina de conejo que se adhieren a los anticuerpos anti-Z ya alojados en las regiones cromosómicas con



Detección de la presencia de ADN Z en los cromosomas.

complejos de ADN Z. Las zonas de reacción pueden ser individualizadas mediante la observación en el microscopio de las regiones cromosómicas fluorescentes (véase la figura). De esta manera se ha podido identificar ADN Z en todas las interbandas de los cromosomas politénicos de *Drosophila* (la mosca de la fruta) y en las zonas heterocromáticas de los cromosomas del roedor *Gerbillus nigrae*. Es interesante mencionar que ni las interbandas de *Drosophila* ni la heterocromatina de *Gerbillus* tienen que estar necesariamente formadas sólo por ADN Z. Las técnicas citogenéticas de inmunofluorescencia producen una gran amplificación de la señal inicial, de manera que bastaría una pequeña cantidad de ADN Z para que aparecieran grandes bandas fluorescentes cuando se observa mediante el microscopio.

Debido a la particular estructura del ADN Z, el carbono en posición 8' de la guanina y el carbono en posición 5' de la citosina quedan expuestos en la región del surco mayor de esta forma de polímero. Mediante la unión de átomos de bromo a un 30-40% de los carbonos

al ácido ribonucleico ARN (véase “El lenguaje de la vida”). Tanto el ADN como el ARN reciben su nombre de la pentosa que integra su molécula, la desoxirribosa en el primer caso, la ribosa en el segundo. El carbono en posición 2' de la desoxirribosa se encuentra asociado con dos hidrógenos mientras que en la ribosa está asociado a un hidrógeno y a un oxidrilo, OH. Este grupo OH de la ribosa se encuentra cerca de distintos átomos de los fosfatos y bases de la molécula de ARN produciendo fenómenos de repulsión que obligan al polímero a adoptar la forma A. Durante el proceso de transcripción, una de las dos cadenas complementarias de ADN sirve como molde para la síntesis de una cadena de ARN a la que transfiere su información. En ese momento, la cadena de ADN adquiere la forma A de la cadena de ARN transitoriamente ligada a ella. Es por lo tanto evidente que en toda región cromosómica con actividad transcripcional, el ADN cambiará de B a A, para volver a B una vez que el proceso de transcripción se haya corrido a otra región. Este proceso es catalizado por la enzima ARN-polimerasa, que posee un sitio activo de una longitud equivalente a 40 pares de bases de la molécula de ADN. Así, resul-

en posición 8' de la guanina, o de radicales metilo a un 15-20% de los carbonos en posición 5' de las citosinas, se facilita la formación de ADN Z sin tener que recurrir a concentraciones salinas altas. Las células vivas carecen de capacidad para bromar, pero cuentan con diversos tipos de metilasas capaces de reemplazar el hidrógeno por un metilo en el carbono en posición 5' de la citosina. Es por lo tanto factible que a través de la metilación de las citosinas puedan producirse condiciones favorables para la aparición de ADN Z en las células vivas. En tal sentido, nuestro grupo de investigación ha podido demostrar que en los linfocitos B la demetilación de una única citosina ubicada a cierta distancia de uno de los genes de inmunoglobulina promueve una marcada activación de dicho gen. La relación de causa a efecto es tan desproporcionada que J. E. Richardson, de la Universidad de Wisconsin, ha considerado que la modificación brusca de la expresión génica es inducida por un cambio de forma Z a B del ADN promovida por la demetilación de la citosina.

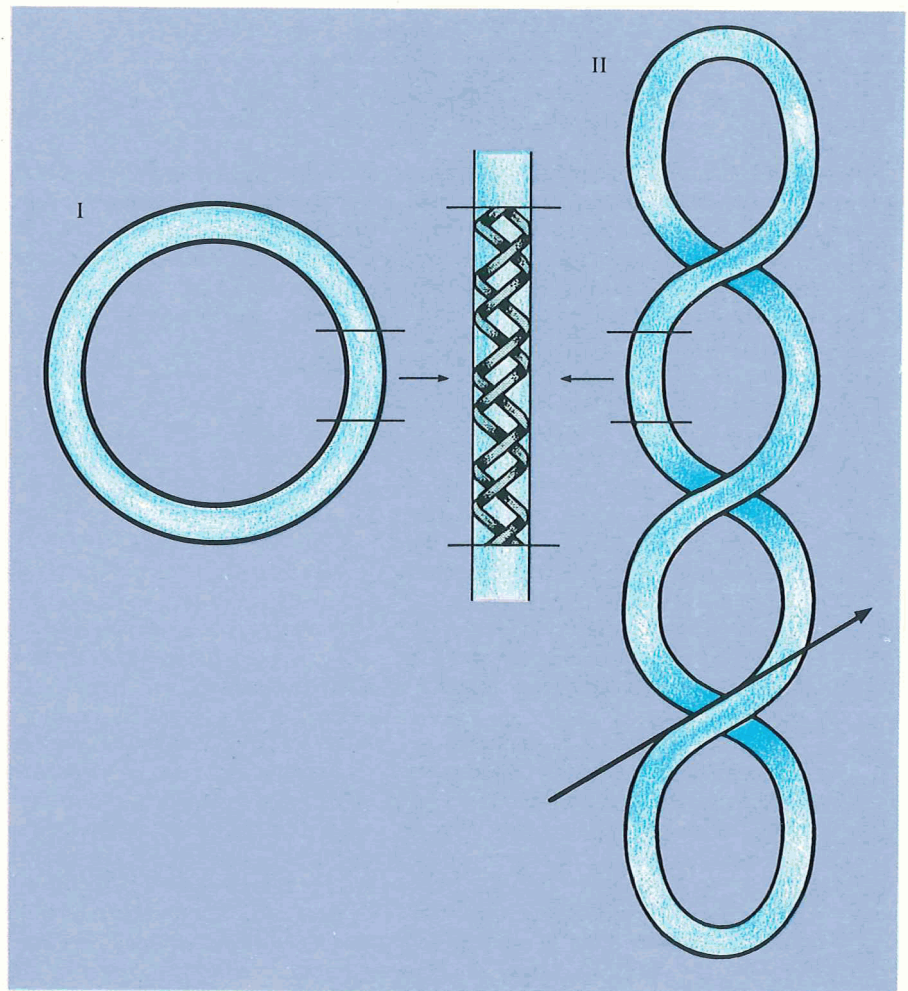


Fig. 8. La doble hélice en los casos de ADN circular relajado (I) y superenrollado (II). En el centro se esquematiza la espiral plectonémica de ADN en un segmento de la molécula circular.

ta evidente que la zona donde tiene lugar la transcripción y la consecuente formación de ADN A tendrá una extensión mínima no inferior a 40 pares de bases.

Diversos experimentos han demostrado, en los últimos años, la existencia de ADN Z en la célula (véase “ADN Z: su detección en la célula viva”).

La macromolécula de ADN puede adoptar una forma lineal o una forma circular cerrada. Gran parte del ADN de las bacterias y de los virus, el ADN mitocondrial y el de los plásmidos, adoptan formas circulares. Aunque en general se acepta que el ADN nuclear de las células eucariotas (células de los seres superiores con núcleos bien definidos) se halla organizado en largas unidades de cadena abierta o lineal, una importante cantidad de datos experimentales tiende a modificar este concepto. En el núcleo en interfase (período entre dos divisiones celulares) gran parte de la fibrilla de cromatina se halla organizada en forma de múltiples bucles o asas. Los dos extremos de cada una de estas asas se unen a estructuras de la membrana nuclear de-

nominadas complejos de poro nuclear y se comportan, por lo tanto, como una unidad circular cerrada. Dado que cada una de las asas contiene ADN, queda probado que el núcleo de la célula eucariota aloja múltiples unidades de ADN circular.

El ADN circular puede encontrarse en forma relajada o en forma superenrollada. En la forma relajada, el círculo se halla desplegado sobre un único plano; en la forma superenrollada el contorno del círculo va girando sobre sí mismo de manera tal que adquiere profundidad (véase la figura 8).

Las dos formas de ADN circular pueden visualizarse en el microscopio electrónico como círculos relajados o superenrollados. Además, pueden identificarse por electroforesis o por centrifugación (separación de partículas en suspensión con la ayuda de un campo eléctrico o de un campo gravitacional respectivamente). En estos casos, la estructura compactada del ADN superenrollado aumenta su migración electroforética y su velocidad de sedimentación, lo cual permite diferenciarlo del ADN circular relajado o del ADN lineal.

Como casi todas las propiedades físicas,

ADN CIRCULAR Y MATEMÁTICA TOPOLÓGICA

Casi todas las propiedades físicas, químicas y biológicas del ADN (comportamiento hidrodinámico, densidad, actividad de replicación y transcripción, enzimología, etc.) resultan afectadas por el fenómeno de circularidad y el estado relajado o superenrollado del ADN circular. La definición clara y precisa del superenrollamiento representa, entonces, una necesidad vinculada con la cabal comprensión de las propiedades del ADN. Dos ramas de la matemática ayudan a resolver los problemas que el tema propone. Una de ellas, la geometría diferencial, aplica los métodos de cálculo diferencial al estudio de curvas y superficies. La otra, la topología, estudia las propiedades de aquellas estructuras que a través de deformaciones pueden intertransformarse.

Varios investigadores han utilizado sistemas matemáticos para el estudio del superenrollamiento. De todas las ecuaciones empleadas, la que mejor describe el fenómeno es la siguiente:

$$L_k = T_w \pm W_r$$

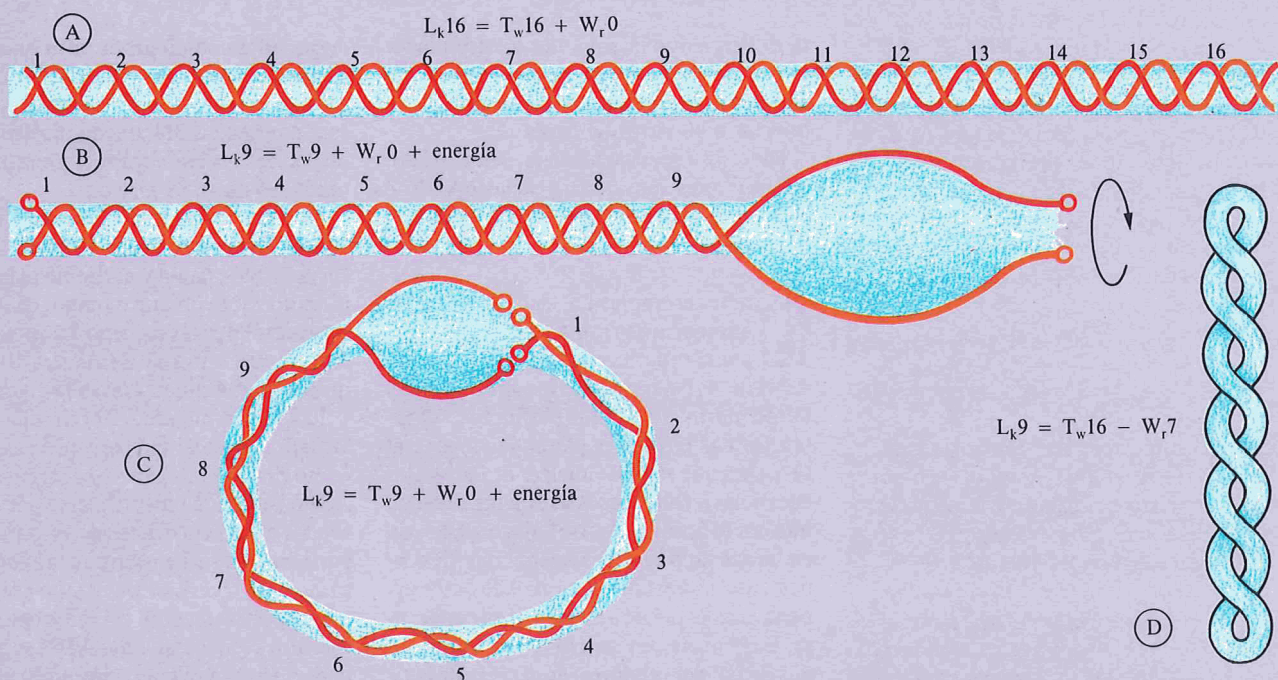
donde L_k representa las veces que una de las cadenas de ADN se envuelve sobre la otra. Para el caso de los ADN con giro en sentido horario (formas A y B) L_k tiene valor positivo, mientras que en

el ADN con giro en sentido antihorario (forma Z) su valor es negativo. A T_w se lo puede definir como el número de vueltas completas (360°) de la espiral plectonémica o hélice del ADN. Finalmente, W_r representa la cantidad de vueltas de sobreenrollamiento existentes en una molécula de ADN circular. En forma opuesta a L_k , W_r tiene valor negativo cuando la dirección de las vueltas de sobreenrollamiento es en sentido horario, y positivo en el caso de las vueltas en sentido antihorario.

En un ADN lineal o en un ADN circular relajado no existe superenrollamiento y por lo tanto $W_r = 0$ y $L_k = T_w$. Sin embargo, pueden existir situaciones diferentes que ilustraremos con los siguientes ejemplos.

Supongamos una cadena lineal de ADN B tipo Watson y Crick de 160 pares de bases de longitud y recordemos que en este caso cada diez pares de bases la hélice gira una vuelta completa. Resulta entonces —y así puede verse en el caso A de la figura— que L_k es igual a 16 y L_k igual a T_w . Si ahora fijamos el extremo izquierdo de la cadena y le damos al extremo derecho siete vueltas en el sentido de las agujas del reloj, se producirá una disminución simultánea de L_k y de

T_w que adquirirán el valor 9 (caso B). Debido a la elasticidad del ADN, la molécula intentará retornar a su estado de reposo inicial con valores de 16 tanto para L_k como para T_w y en consecuencia, si se desea mantenerla en el estado al que se la ha forzado, será necesario el empleo de un vínculo externo. En el paso siguiente, unimos los dos extremos del ADN y lo transformamos en circular (caso C). Para mantenerlo en forma de círculo relajado se deberá seguir aplicando la acción externa a fin de contrarrestar la tendencia de la molécula de ADN a recuperar los valores originales de L_k y T_w . Si a continuación liberamos a la molécula y le permitimos que adopte una configuración compatible con una situación de reposo, sucederá lo ilustrado por el caso D; como la molécula de ADN es ahora circular, la cantidad de veces que una de las cadenas se envuelve sobre la otra no puede modificarse y en consecuencia L_k se mantiene constante. Por el contrario, el número de vueltas de la doble hélice vuelve a su situación original y por consiguiente T_w aumenta. En tales condiciones es necesario un W_r negativo con el fin de mantener iguales los dos componentes de la ecuación $L_k = T_w \pm W_r$. El resultado final se-



Matemática aplicada al estudio del superenrollamiento.

rá un ADN circular superenrollado con un número de vueltas a la derecha correspondiente a $W_r = -7$ (quede claro al lector que en D se ha omitido el dibujo detallado de las nueve vueltas de doble hélice que sí se muestran en C).

Lo expuesto anteriormente subraya el hecho de que en un ADN lineal pueden cambiar el L_k y el T_w conjuntamente, mientras que en un ADN circular el L_k es inmodificable y sólo pueden acontecer variaciones del T_w y el W_r . De acuerdo a esto analicemos dos casos en los cuales se parte de un ADN circular superenrollado similar al ilustrado en el caso D de la figura. Si este ADN se somete a una deshidratación moderada, se producirá un cambio de la forma B a la A. En tales condiciones se necesitarán 11 pares de bases para cada giro completo de la espiral plectonémica de ADN. Dado que el ADN ilustrado en la figura cuenta con 160 pares de bases, el T_w será $160 / 11 = 14,5$; teniendo en cuenta que el L_k es inmodificable, el W_r deberá disminuir su negatividad de 7 a 5,5 y en consecuencia se perderán 1,5 vueltas de superenrollamiento. Como segundo ejemplo imaginemos que una sección de ADN B de unos 20 pares de bases se transforma en ADN Z, de tal manera que cada vuelta de la espiral plectonémica se efectúa en sentido antihorario. En tales condiciones, el T_w disminuye dos unidades (una unidad correspondiente a la vuelta positiva de espiral, perdida al pasar de B a Z; la segunda unidad originada en el signo negativo adjudicado a la vuelta de espiral en sentido antihorario). Simultáneamente el W_r disminuye su negatividad en dos unidades, y concomitantemente se pierden dos vueltas de superenrollamiento del ADN circular. En los dos ejemplos, la disminución del superenrollamiento fue más o menos equivalente. Sin embargo, en el primero resultó necesario modificar la conformación espacial de los 160 pares de bases que forman el ADN circular, mientras que en el segundo bastó la modificación de sólo 20 pares de bases para obtener un efecto algo superior al del primer ejemplo. Vemos entonces que la transformación de B a Z de pequeños segmentos de ADN puede provocar marcadas modificaciones en los niveles de superenrollamiento circular.

químicas y biológicas del ADN se vinculan al ADN circular y a su estado relajado o superenrollado, la clara definición de estas formas es importante para alcanzar una adecuada comprensión de dichas propiedades. La matemática resulta, en estas circunstancias, un aliado indispensable (véase "ADN circular y matemática topológica").

Dado que el ADN es un polímero con propiedades elásticas, cuando se produce la ruptura de una de las dos cadenas complementarias en una molécula superenrollada, la cadena rota gira sobre la sana hasta que se pierde el superenrollamiento. Por tal motivo, cualquier agente físico (radiaciones ionizantes) o químico (bleomicina, radicales libres, etc.) capaz de romper el ADN tiene la capacidad de relajar la molécula circular. Cuando la ruptura del ADN acontece en la célula viva, ocurre habitualmente un proceso enzimático de reparación que cierra la brecha con rapidez y restituye la integridad del ADN circular. En estas condiciones es factible que se recupere también el superenrollamiento. Las modificaciones del enrollamiento del ADN circular se realizan a través de enzimas denominadas topoisomerasas. La topoisomerasa II tiene la propiedad de transformar un ADN circular relajado en superenrollado. Este proceso implica pasar de una forma sin almacenamiento de energía a una forma con alto contenido energético, y por lo tanto es necesaria la presencia de adenosina trifosfato (ATP) como donante energético. Por el contrario, la transformación de ADN superenrollado en relajado con subsecuente liberación de energía es catalizada directamente por la topoisomerasa I sin necesidad de ATP.

En organismos eucariontes, las topoisomerasas se ubican selectivamente en la membrana nuclear, punto de inserción de las asas de cromatina que forman los dominios circulares de ADN. Esta localización resulta ideal para que la enzima promueva o corrija cambios de superenrollamiento que afectan a toda la asa cromatínica.

Como se explica detalladamente en "ADN circular y matemática topológica", una modificación estructural en una región limitada de la molécula circular de ADN modifica la topología a lo largo de todo el círculo. Estos cambios arquitectónicos son sumamente importantes porque modifican la relación del ADN con proteínas reguladoras y ejercen, por lo tanto, un profundo efecto en el funcionamiento génico.

Ha sido demostrado recientemente que el modelo de Watson y Crick no es el único. En efecto, se han descrito asociaciones de dos, tres y cuatro hebras de ADN que se interconectan mediante uniones no complementarias de guanina. Estas

estructuras, denominadas de Hoogsteen en homenaje a quien las describió por primera vez en 1959, se encuentran en los extremos (telómeros) de cada cromosoma eucarionte. Recientemente, nuestro grupo de investigación junto con J. Kere de la Universidad de Helsinki, ha podido demostrar que algunos genes producen múltiples copias de sí mismos que se asocian entre sí y con el ADN de copia única mediante estructuras de Hoogsteen.

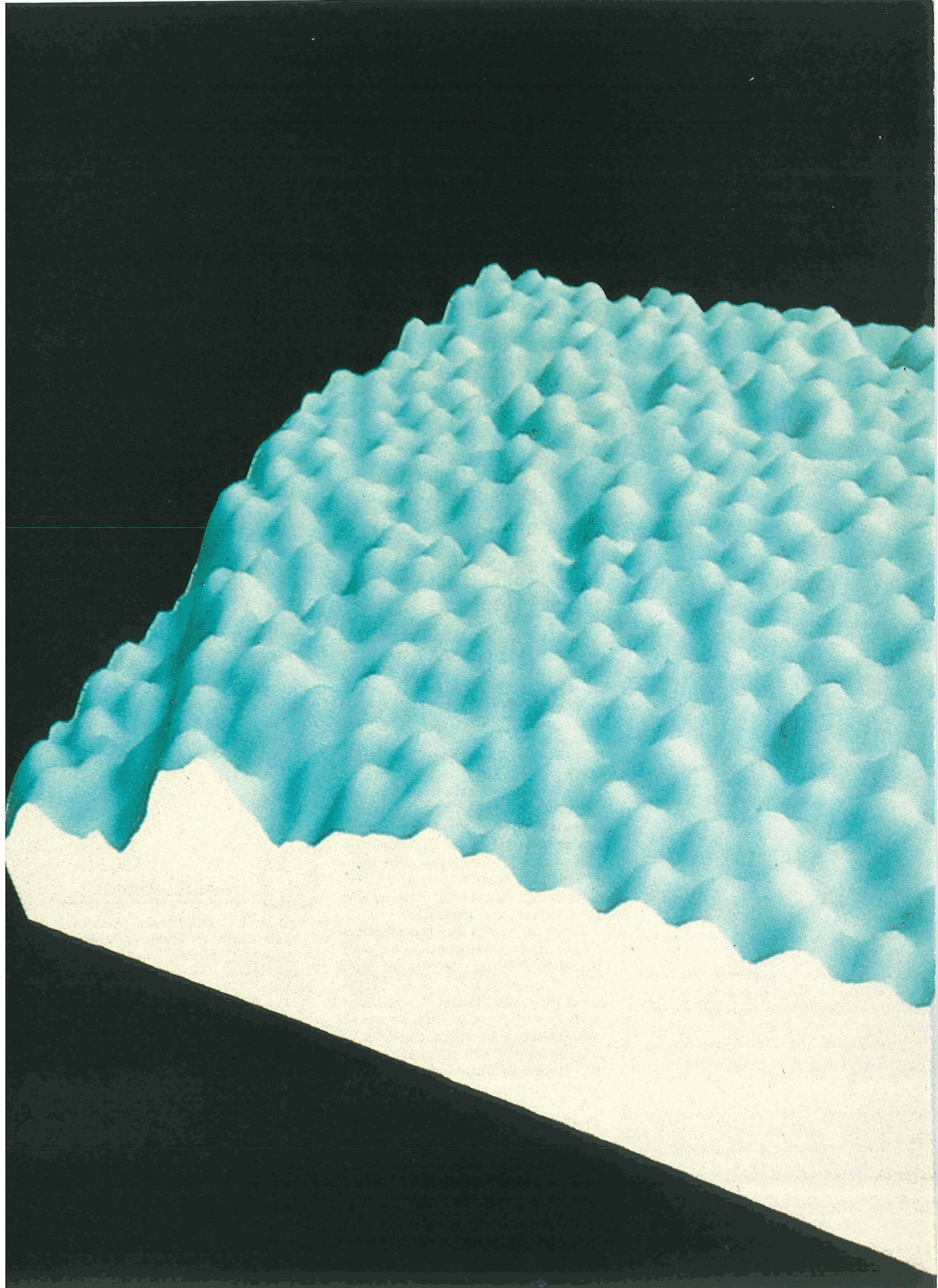
Lejos ha quedado la época en que se pensaba que una molécula constituida por sólo cuatro nucleótidos diferentes no podía tener la versatilidad y ductilidad necesarias como para almacenar la información genética de un ser vivo. Se pensaba entonces que las proteínas con sus veinte aminoácidos reunían las condiciones adecuadas para actuar como depósitos de genes. Pero hoy sabemos que pese a su limitada variedad química, el ADN puede organizarse y estructurarse en formas muy cambiantes. Esta maravillosa molécula contiene todos los genes de las formas vivas de nuestro planeta, es capaz de autoduplicarse, de transmitir la información genética, de modificar su arquitectura y modificar el funcionamiento génico, de mutar, fijar y también corregir las mutaciones.

Durante los últimos cuarenta años se han develado la estructura química del ADN y el código genético (véase "El lenguaje de la vida"). Las próximas décadas permitirán comprender mejor su arquitectura y topología, así como la forma en que microcambios moleculares provocan macrocambios en el funcionamiento génico. ☉



LECTURAS SUGERIDAS

- CRICK, F. H. C., 1976, "Linking Numbers and Nucleosomes", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, U.S.A., 73, págs. 2639-2643.
- DICKERSON, R. E. *et al.*, 1982, "The Anatomy of A, B and Z-DNA", *Science* 216, págs. 475-485.
- FREELAND-JUDSON, H., 1980, *The Eight Day of Creation*, Simon and Schuster, New York.
- LAFFER, E. M. *et al.*, 1981, "Antibodies to Left-handed Z-DNA Bind to Interband Regions in *Drosophila* Polytene Chromosomes", *Nature* 294, págs. 417-422.
- SAENGER, W., 1984, *Principles of Nucleic Acid Structure*, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg.
- WATSON, J. D., 1968, *The Double Helix: A Personal Account of the Discovery of the Structure of DNA*, Atheneum, New York.



EL EFECTO HALL CUÁNTICO

Francisco Claro

Facultad de Física, Universidad Católica de Chile

El efecto Hall cuántico puede ser detectado macroscópicamente por medio de una sencilla medición de corrientes eléctricas y voltajes. Sin embargo, este sorprendente fenómeno, cuya explicación teórica no es aún plenamente satisfactoria, pone en evidencia una constante universal cuya expresión sólo contiene constantes atómicas.

Los semiconductores son el milagro tecnológico del presente. La televisión, las computadoras, las transmisiones vía satélite, los viajes espaciales y muchos otros desarrollos han sido posibles gracias a esa familia de materiales que, en lo que respecta a sus propiedades eléctricas, se sitúan entre los conductores metálicos y los aisladores. Las primeras ideas sobre su comportamiento y la invención del transistor —primogénito de esta significativa serie de aplicaciones— le valieron a John Bardeen, William Shockley y Walter Brattain el premio Nobel de Física en 1956. En esa época nadie imaginaba la extensión y el alcance de la influencia que el dominio de esos materiales iba a tener sobre la forma de vida del hombre moderno. Las computadoras, que ocupaban edificios enteros y existían exclusivamente en laboratorios privi-

legiados, se convertirían con el tiempo en un equipamiento común, que se encuentra hoy no sólo en los más modestos lugares de investigación sino también en oficinas y domicilios particulares.

Pero el milagro no terminó con la espectacular secuencia de artefactos tecnológicos. En 1980, trabajando en el laboratorio Max Planck, en Grenoble (Francia), Klaus von Klitzing descubrió en estos materiales un fenómeno sorprendente, hoy conocido como efecto Hall cuántico, hallazgo que lo hizo merecedor, en pocos años, de las más altas distinciones, entre ellas el premio Nobel de Física en 1985. Más que el potencial de aplicaciones, lo que impresionó a la comunidad científica en este caso fue el interés del descubrimiento con relación a aspectos fundamentales de la física moderna. En su curso de aceptación ante la Academia Sue-

La distribución de los átomos en la superficie de un material puede presentar cierta regularidad. Siempre hay, sin embargo, lugares desocupados o defectos de varios tipos que impiden la formación de un retículo perfecto. El desorden resultante se puede apreciar en esta fotografía de la superficie de un cristal de silicio, obtenida con un microscopio electrónico de barrido, basado en el llamado "efecto túnel", capaz de resolver detalles a escala atómica. En la imagen, cada montículo representa un átomo individual.

Foto: R. J. Warwack y T. L. Ferrell, Laboratorio Nacional de Oak Ridge, EE.UU.

ca, von Klitzing afirmó: “La investigación en semiconductores y el premio Nobel de Física parecen ser contradictorios, ya que se puede creer fácilmente que un sistema tan complicado como un semiconductor no es útil para hacer descubrimientos fundamentales”. Su experimento demostró lo contrario, y se sitúa hoy en la galería de sorpresas que la investigación en física ha dado a la humanidad.

Uno de los objetivos básicos de la física es reducir a formas cada vez más sencillas los conceptos utilizados en la descripción del comportamiento de la materia. Lo que llamamos un concepto fundamental tiene la característica de que, en general, se expresa matemáticamente sólo en términos de constantes también llamadas fundamentales como, entre otras, la carga del electrón (e), la constante cuántica de Planck (h) o la velocidad de la luz (c). En la jerga profesional se habla de “ecuaciones de primeros principios”, expresión algo redundante pero que pone énfasis en el carácter básico de los conceptos que describe este tipo de ecuación.

El efecto Hall cuántico se pone en evidencia por medio de un experimento en el que se mide una resistencia eléctrica cuyo valor es la razón $h/e^2 = 25.812,802$ ohm. Ésta es una curiosa combinación de constantes fundamentales que, sorprendentemente, tiene las dimensiones de una resistencia eléctrica. La misma combinación aparece en las ecuaciones de la electrodinámica cuántica, la teoría moderna de las interacciones electromagnéticas. El efecto que aquí estamos tratando está siendo utilizado como una nueva forma de confirmar dicha teoría. Por otra parte, y por acuerdo internacional, el 1° de enero de 1990 entró en vigencia un nuevo patrón para la medición de resistencia eléctrica basado en el efecto Hall cuántico.

¿Por qué todo esto despierta nuestra atención? Porque materiales diferentes presentan un comportamiento eléctrico que puede llegar a ser dramáticamente diverso. A la temperatura ambiente, la resistencia eléctrica de un trozo de carbón, por ejemplo, es un millón (10^6) de veces mayor que la de uno de cobre de iguales dimensiones, y si el trozo fuera de yodo sería mil billones (10^{15}) de veces mayor que la del de cobre. Esas relaciones se modifican de acuerdo con la temperatura, la pureza del material, etc. Pero en el experimento de von Klitzing la resistencia que se mide no depende de estos factores. Por ello fue una gran sorpresa encontrar un fenómeno que puede ser percibido macroscópicamente con sólo medir corrientes eléctricas y voltajes, y que, sin embargo, revela un número universal cuya expresión contiene sólo constantes fundamentales como h y e .

Antes de comenzar a describir el efecto mismo, veamos brevemente en qué materiales se lo observa. Curiosamente, ocurre en una capa muy delgada —de un espesor de cerca de un millonésimo de centímetro— que se forma entre dos materiales diferentes, un semiconductor y un aislador. En el primero se producen campos eléctricos que empujan a los electrones hacia la juntura y originan un efecto semejante al de la fuerza de gravedad que se ejerce sobre un objeto próximo a la superficie terrestre. El aislador, a su vez, se comporta como una pared en la cual los electrones no pueden penetrar. De tal modo, éstos permanecen confinados en la juntura. Como un elefante, que sólo puede deslizarse sobre la superficie bidimensional de la tierra, los electrones pueden moverse en cualquier dirección paralela al plano de contacto de los materiales, pero no perpendicularmente a este plano. En el primer caso, el campo gravitacional empuja al animal y la dureza de la tierra lo retiene; en el segundo, los agentes son, respectivamente, un campo eléctrico y el material aislador. Los pares de materiales usados hasta ahora incluyen silicio y óxido de silicio, y arsenuro de galio y arsenuro de galio con impurezas de aluminio.

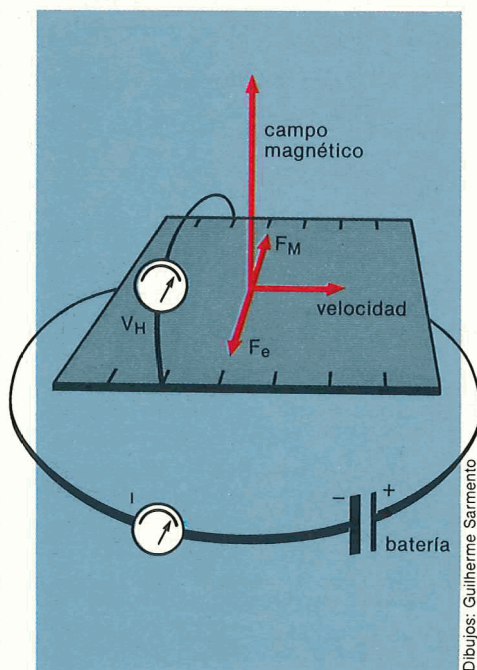


Fig. 1. Cuando una partícula dotada de carga eléctrica se mueve en presencia de un campo magnético, experimenta una fuerza F_M que actúa en la dirección perpendicular a su velocidad y al campo. En el efecto Hall ordinario, esta fuerza es compensada por otra de igual intensidad y de sentido contrario, F_e , originada por la repulsión de las cargas ya acumuladas a un costado de la muestra. Debido a la presencia de estas cargas, un voltímetro acusará una diferencia de potencial eléctrico V_H lateral. En la figura se supone que se trata de electrones, de carga eléctrica negativa.

El nombre “efecto Hall cuántico” tiene su origen en un fenómeno conocido simplemente como “efecto Hall”, que fuera descubierto en 1879 por el físico norteamericano Edwin Hall y que se aplica rutinariamente para medir el número y la naturaleza de las cargas que transportan corriente eléctrica en semiconductores. Para observarlo basta conectar una batería eléctrica a los extremos de un semiconductor situado en un campo magnético. Por el circuito fluye entonces una corriente, pero ocurre además un efecto secundario: se acumula carga a un costado de la muestra. Un voltímetro detecta la existencia de una diferencia de potencial eléctrico (V_H), llamado voltaje de Hall, transversal a la dirección de flujo de las cargas. Esa diferencia de potencial crece cuando hace lo propio el campo magnético y desaparece si el campo deja de existir.

Para comprender el efecto Hall cuántico es útil conocer previamente la teoría del efecto Hall, por lo demás relativamente simple. Esta teoría se basa en el efecto que un campo magnético produce sobre cargas en movimiento. Aquí sólo consideraremos el caso bidimensional, en que las partículas pueden moverse únicamente sobre un plano. La aplicación de un campo magnético dirigido en sentido perpendicular a este plano provoca un efecto inesperado: los electrones describen círculos, como si estuvieran unidos por un hilo invisible a centros también imaginarios. Ahora bien, sabemos que en ausencia de fuerzas una partícula debe moverse en forma rectilínea; para que exista movimiento circular es necesaria una fuerza que actúe en dirección perpendicular a la velocidad. Si hacemos girar un objeto atado a un hilo, este último ejerce una fuerza que hace posible su movimiento circular. En el caso de una carga eléctrica que se mueve en un campo magnético, la fuerza es producida por el campo, y es más intensa cuanto más intenso sea éste.

Supongamos ahora que a los extremos de nuestra lámina de electrones conectamos una batería que produce, en el interior de la muestra, un campo eléctrico longitudinal que actúa de manera semejante a la gravedad, acelerando los electrones y obligándolos a desplazarse de un extremo al otro. Se produce así una corriente que es, simplemente, un flujo de cargas a través del material en la dirección del campo eléctrico, semejante a un río cuyas aguas tienden a buscar superficies más bajas por la acción de la gravedad terrestre. En ausencia de un campo magnético la muestra es totalmente neutra porque, si bien los electrones transportan carga negativa, el medio en que se mueven tiene un número igual de iones positivos distribuidos de manera análoga, que neutralizan, en cada punto, la carga de los

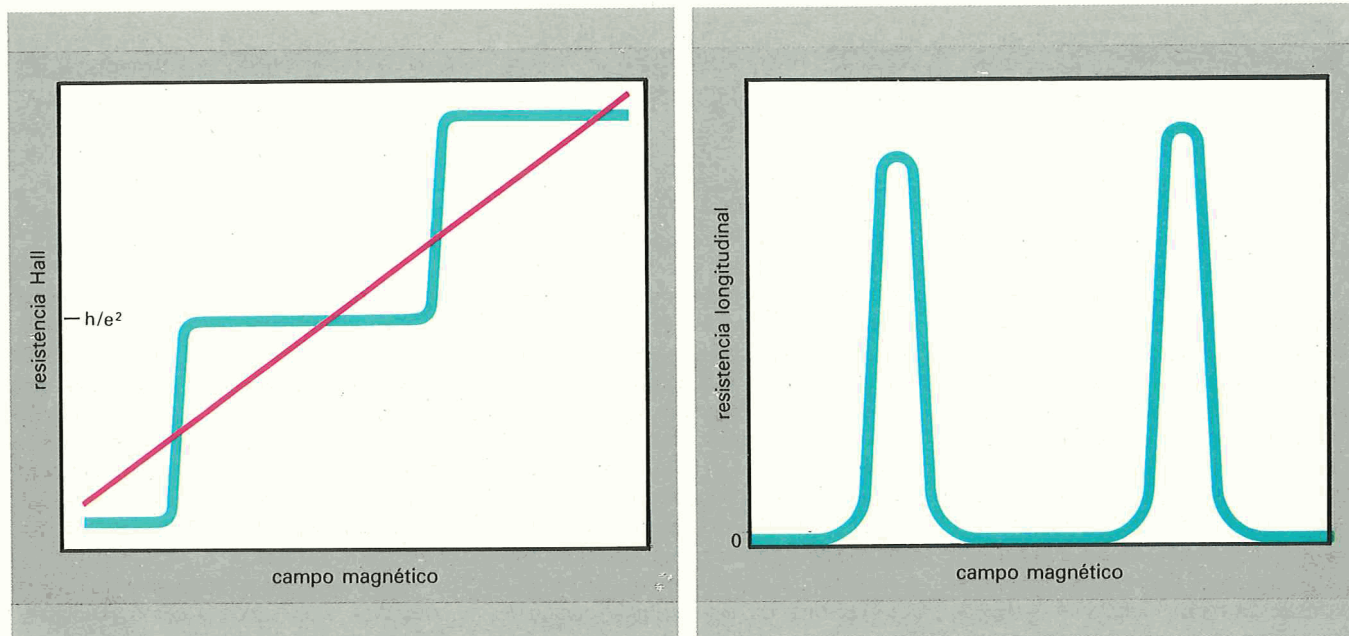


Fig. 2. En el efecto Hall ordinario la resistencia Hall crece de manera lineal, a medida que el campo eléctrico aumenta, como muestra la línea roja del primer gráfico. En el efecto Hall cuántico esto ocurre a saltos, produciéndose una curva que semeja los peldaños de una escalera (línea azul). En los intervalos en que la resistencia Hall permanece constante, la resistencia a la conducción longitudinal se hace cero (gráfico de la derecha).

electrones que pasan por él. Sin embargo, la presencia de un campo magnético crea, como hemos visto, una fuerza perpendicular a la dirección de la corriente que empuja a los electrones hacia un costado de la muestra, donde se forma una acumulación de carga negativa. Este exceso dificulta la aproximación de nuevos electrones, porque cargas de igual signo se repelen, contrarrestando la acción del campo magnético que procura desviarlos hacia allí. Llegará un momento en el que la acumulación de carga será suficiente para compensar totalmente la fuerza producida por el campo magnético, de modo que los electrones dejarán de “sentir” la presencia de dicho campo. Las partículas serán empujadas hacia un costado por el campo magnético y hacia el opuesto por las cargas acumuladas: ambos efectos se anularán y la corriente avanzará como si no existiese ninguno de los dos campos (véase la figura 1). La situación es similar a la de un avión en pleno vuelo, que se desplaza como si no existiera la atracción gravitacional. ¿Cómo es posible que no caiga? Si observamos detenidamente el contorno de cada ala veremos que hay una diferencia entre sus perfiles, el superior y el inferior. Allí está el secreto: las corrientes de aire que pasan por encima y por debajo de las alas no son iguales y producen un empuje neto hacia arriba que compensa enteramente la fuerza de gravedad.

Si los electrones dejan de “sentir” la fuerza del campo magnético, ¿cuál es entonces el papel de éste último? No olvidemos que dicha fuerza fue compensada por la acumulación de cargas en un costado: en la práctica, el campo convierte a la muestra en una

especie de batería eléctrica transversal. La diferencia de potencial lateral V_H es proporcional al campo magnético: cuanto mayor es el campo, mayor es la acumulación de carga y, por lo tanto, mayor es el voltaje. El efecto Hall consiste justamente en la aparición de este voltaje.

Esta explicación del efecto Hall basta para interpretar lo que ocurre en el laboratorio cuando el campo magnético no es demasiado grande. En tal caso, el voltaje de Hall crece de manera gradual a medida que aumenta el campo. Pero veamos ahora el caso cuántico. Cuando se alcanzan valores muy grandes de campo, el voltaje deja súbitamente de crecer y luego experimenta un salto. Después vuelve a permanecer constante, para enseguida manifestar un nuevo salto. Aunque su promedio crezca de manera gradual, su comportamiento, paso a paso, recuerda en un gráfico los peldaños de una escalera. En los intervalos en que no varía, la llamada resistencia Hall —el cociente entre el voltaje de Hall y la corriente que circula por la muestra— presenta un valor constante $R_H = nh/me^2$, donde m es un número entero y n es un entero impar. Al mismo tiempo, en esos intervalos la caída de potencial longitudinal se iguala a cero: ello indica que la resistencia al paso de la corriente es nula (véase la figura 2). Ambas observaciones —la constancia de la resistencia Hall y la conducción eléctrica sin resistencia— contradicen las predicciones de la teoría del efecto Hall clásico. Señalemos, además, que R_H se mide con extremada precisión, y sus valores son exactos hasta una parte en diez

millones. Estos hechos explican la gran repercusión que tuvo el descubrimiento del efecto Hall cuántico.

¿A qué se deben los saltos de la resistencia Hall? ¿Por qué su valor depende tan sólo de constantes fundamentales y no del material utilizado en el experimento? ¿Cómo es posible que en muestras con una gran cantidad de impurezas y un desorden interno apreciable los electrones no experimenten choques y transporten carga sin ninguna resistencia? Estas preguntas no tienen respuesta en el ámbito de la teoría clásica del efecto Hall que ya describimos. La búsqueda de explicaciones debe tener en cuenta lo que llamamos efectos cuánticos, algunos de los cuales presentaremos ahora.

Comencemos con un concepto básico de la física cuántica. Cuando un objeto muy pequeño está confinado en un espacio también reducido, su energía queda “cuantificada”, esto es, sólo puede tomar ciertos valores fijos que llamamos “niveles de energía” (véase la figura 3a). En un átomo, por ejemplo, el núcleo mantiene a los electrones en sus proximidades a distancias extremadamente pequeñas, del orden de cien milonésimos de centímetro. Las energías permitidas a los electrones quedan entonces bien separadas entre sí, y el proceso de entregar energía a un electrón o quitársela requiere cantidades bien definidas de energía. La posición relativa de estos niveles varía de una especie de átomo a otra, hecho que determina la mayoría de las características de cada elemento: por ejemplo, su interacción con la luz y sus propiedades químicas. La diversidad de propiedades que presenta la materia —la dureza del diamante, la ma-

leabilidad de la arcilla, el color de las flores— se debe en gran medida a las pequeñas diferencias que existen en las posiciones de los niveles de energía de los 103 tipos de átomos que conocemos.

Un campo magnético produce un efecto similar sobre los electrones que se mueven en un plano. Cuando el campo es pequeño, los electrones describen círculos de gran radio, de aproximadamente un centésimo de milímetro si se trata del campo magnético terrestre. En el ámbito atómico ésta es una distancia enorme y los efectos cuánticos son en este caso despreciables. Cuando ocurre el efecto Hall cuántico, el campo magnético es muy intenso y el electrón queda confinado en una superficie poco mayor que las dimensiones atómicas. En estas condiciones, la cuantificación de su energía adquiere importancia y sigue una regla sencilla: los niveles están todos igualmente separados por una energía Δ , proporcional al campo magnético. Si E_1 es el nivel de energía más baja, los niveles siguientes serán $E_2 = E_1 + \Delta$, $E_3 = E_1 + 2\Delta$, y así sucesivamente.

Este resultado de la física cuántica sólo sería exacto si los electrones no interactúan con el medio en que se mueven o bien entre sí, pero tal cosa no corresponde a una situación real. Por llevar carga eléctrica, las partículas se repelen; además, chocan con los iones positivos y con los átomos neutros que encuentran en su camino. Cuando estas interacciones son tomadas en cuenta, los niveles de energía adquieren “anchura”, es decir que no se trata de energías aisladas, sino de intervalos de valores permitidos (véase la figura 3b). A estos intervalos los llamaremos “bandas” de energía, y a los trechos de energías prohibidas, que separan las bandas entre sí, los llamaremos “brechas” (gaps).

Necesitamos describir otro concepto de la física cuántica, considerado hoy uno de los pilares de la física moderna, propuesto en 1925 por el físico suizo Wolfgang Pauli. Se trata del famoso “principio de exclusión”, según el cual dos electrones no pueden ocupar simultáneamente un mismo estado cuántico. Entendemos aquí por “estado” la situación en que se encuentra una partícula, caracterizada por el valor de su energía, su dirección de movimiento y otros parámetros. Para entender este concepto puede resultar conveniente utilizar una analogía. Imaginemos una gradería de asientos en un estadio deportivo. Es claro que dos personas no pueden ubicarse en un mismo asiento, de modo que queda excluida la posibilidad, para un espectador, de ocupar un lugar en el que otro ya se instaló. Del mismo modo, si un estado cuántico ya está ocupado, se vuelve inaccesible a las demás partículas del sistema.

Sin embargo, es posible que dos o más electrones, ubicados en estados diferentes, tengan la misma energía, porque este parámetro no basta para especificar completamente un estado. Volviendo a la analogía anterior, podemos imaginar que una fila de asientos caracteriza a la energía, siendo por tanto posible que coexistan asientos (estados) diferentes aunque dotados de la misma energía. En el átomo, por ejemplo, el nivel más bajo de energía tiene dos estados. Esto significa que, según el principio de exclusión de Pauli, podemos ubicar allí hasta dos electrones. El nivel siguiente también tiene dos estados, luego sigue otro con seis, y así hasta un máximo conocido de catorce. En un campo magnético como el utilizado en la experiencia de von Klitzing, en cambio, el número de estados en cada nivel es enorme: cerca de cien mil millones por centímetro cuadrado, que es aproximadamente la densidad superficial de electrones que existen en el material. Si colocamos un electrón en cada estado tendremos solamente uno o dos niveles ocupados y esto es importante para la observación del efecto que nos interesa.

Un tercer concepto que debemos utilizar es el de “estado fundamental”, aquél en que el sistema completo presenta su más baja energía. No se debe confundir este estado con los estados cuánticos accesibles a un electrón, a los cuales nos referimos anteriormente. A la temperatura del cero absoluto (-273°C), la materia se encuentra en su estado fundamental. Los electrones se localizan en los estados de más baja energía y los llenan, a la vez que permanecen vacíos los

estados de energía superior. Para que el sistema salga del estado fundamental basta aumentar la temperatura. La energía calórica retira algunos de los electrones de los estados de más baja energía y los lleva a otros de energía superior. Los niveles quedan entonces parcialmente ocupados, con algunos estados llenos y otros que no lo están.

Supongamos ahora que el número de electrones sea igual al número de estados en la banda de energía más baja. A una temperatura próxima al cero absoluto, los electrones ocuparán completamente esta banda, mientras que las otras, de mayor energía, permanecerán vacías. Si conectamos una batería a la muestra, los electrones se moverán. ¿Habrá entonces resistencia eléctrica?

Todos conocemos el calor producido por utensilios domésticos —como planchas, lámparas o estufas— en los cuales una corriente eléctrica atraviesa un material que ofrece resistencia. Siempre que esto ocurre el flujo de cargas calienta el material. Así, si una corriente se forma en un sistema que está en su estado fundamental, la presencia de una resistencia, al elevar la temperatura, tiene el efecto de retirarlo de ese estado. En general tal fenómeno se debe a los choques entre los electrones y los átomos del medio: parte de la energía de movimiento de los primeros es transferida a los átomos, y el material se calienta.

Considerando que, en nuestro ejemplo, los electrones disponibles llenan la banda de más baja energía, surge una pregunta: ¿es posible el intercambio energético descrito anteriormente? Si la corriente fuese pequeña, la respuesta sería negativa. En este caso la energía disponible para el intercambio también es pequeña, porque corresponde a la energía del movimiento de los electrones en su desplazamiento a través de la muestra. Si tal energía es menor que la separación entre los bordes de la primera y de la segunda banda, entonces los electrones no pueden saltar a la banda más alta porque la energía que pueden intercambiar no es suficiente. Por otro lado, como desde el comienzo todos los estados están ocupados, dentro de la misma banda sólo es posible un intercambio de estados entre dos electrones, fenómeno que no produce efecto alguno en la conducción eléctrica. No existe por lo tanto un mecanismo que obstaculice el libre desplazamiento de la corriente, y el material es un conductor perfecto.

El uso de nuestra analogía del estadio puede ayudar a entender lo que ocurre. Supongamos que en un estadio de forma circular las filas de la primera gradería, más próximas al campo de juego, están totalmente ocupadas por espectadores. A mayor altura hay otra gradería, también con varias fi-

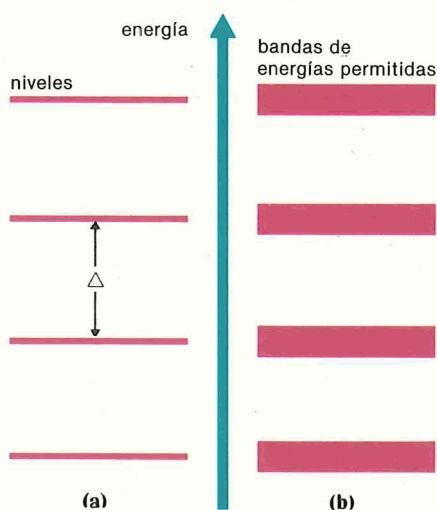
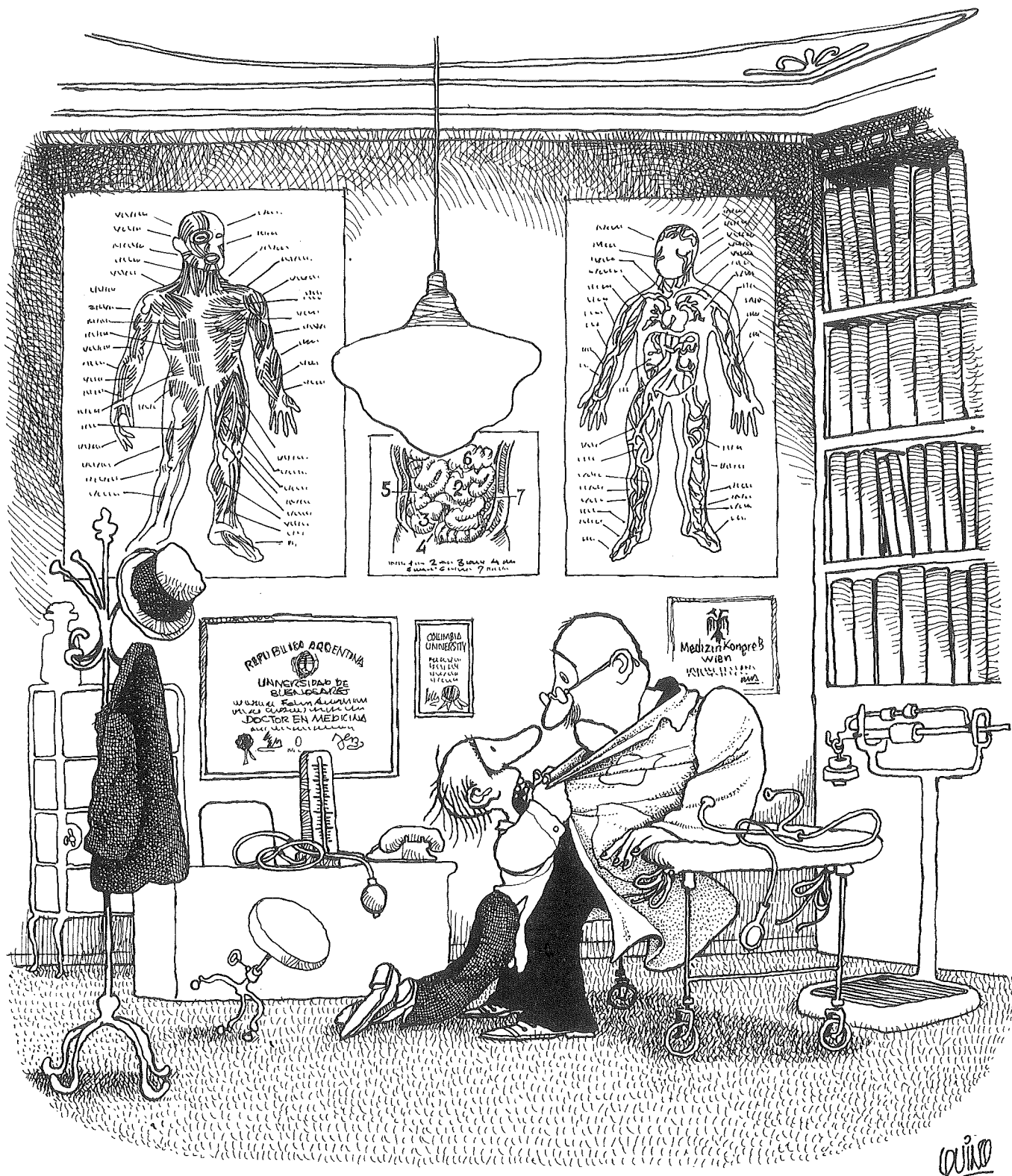


Fig. 3. En un campo magnético la energía de un electrón no puede tomar valores cualesquiera. Si el electrón está aislado (a) las energías permitidas, o niveles, están separados por un intervalo Δ . Pero si interactúa con otros electrones y con átomos del medio en que se encuentra (b), los niveles se ensanchan y abarcan un intervalo o banda de energías permitidas. Las bandas están separadas por una brecha de energías prohibidas, cuya magnitud es algo menor que Δ .



—¿POR TERRIBLE QUE SEA QUIERO SABER LA VERDAD, DOCTOR: ¿SER UN SER HUMANO ES UNA ENFERMEDAD INCURABLE?

órgano lo debilita y hasta lo hace desaparecer.

Segunda Ley. Todo lo que la Naturaleza hizo adquirir o perder a los individuos por la influencia de las circunstancias a que su raza se ha encontrado colocada durante largo tiempo, y consecuentemente por la influencia del empleo predominante de tal órgano, o por la de su desuso, la Naturaleza lo conserva por la generación en los nuevos individuos, con tal de que los cambios adquiridos sean comunes a los dos sexos, o a los que han producido estos nuevos individuos."

Para ilustrar la primera ley, Lamarck cita el caso de los ojos de los animales que viven en la oscuridad, que tienden a desaparecer, mientras que el ejercicio continuado tiende a desarrollar los órganos. Pero, ¿cómo explicar la aparición de órganos nuevos? Aquí Lamarck da un grave paso en falso, presentando a sus adversarios un flanco muy vulnerable al dejar que su imaginación traspase los límites que impone la racionalidad. ¿Es posible admitir que un órgano aparezca en un animal por acción de una necesidad repetida, por ejemplo, los cuernos en los rumiantes? Dice Lamarck que "en sus accesos de cólera, que son frecuentes, sobre todo en los machos, su sentimiento interior dirigió más fuertemente por esos esfuerzos los fluidos hacia aquella parte de la cabeza, formándose en ella una secreción de materia córnea en los unos, y de materia ósea mezclada de materia córnea en los otros, que dio lugar, en la sucesión de las generaciones, a protuberancias sólidas".

Después de mencionar muchos otros ejemplos referidos a las aves palustres y acuáticas, al canguro, la jirafa, los roedores, etc., al concluir el capítulo VII de la *Filosofía zoológica* y antes de tratar la clasificación natural del reino animal y de exponer su osada opinión de que el hombre derivaría de antropoides, Lamarck establece las dos conclusiones siguientes:

"El hecho es que los diversos animales tienen, según su género y especie, hábitos particulares y una organización que se encuentra en relación con ellos. De la consideración de este hecho parece que se está en libertad de admitir sea una, sea otra de las dos conclusiones siguientes, aunque ninguna de ellas pueda probarse:

Conclusión admitida hasta hoy. La Naturaleza (o su Autor) al crear los animales, previó todas las suertes posibles de circunstancias en las cuales tendrían que vivir y dio a cada especie una organización constante, así como una forma determinada e invaria-

ble en sus partes, que fuerzan a cada especie a vivir en los lugares y los climas donde se la encuentra y a conservar en ellos los hábitos que se le conocen.

Mi conclusión particular. La Naturaleza, al producir sucesivamente todas las especies de animales y comenzando por los más imperfectos o los más simples, para terminar su obra por los más perfectos, ha complicado gradualmente su organización, y al esparcirse estos animales por todas las regiones del Globo, cada especie ha recibido de la influencia de las circunstancias en las cuales se ha encontrado, los hábitos que conocemos y las modificaciones en sus partes que nos muestra la observación.

La primera de estas conclusiones es la corriente en la actualidad, supone en cada animal una organización constante y partes que no han variado nunca. Supone aún que las circunstancias de los lugares que habita cada especie de animal no cambian jamás, porque si variasen, los mismos animales no podrían vivir en ellos.

La segunda conclusión es sólo mía. Supone que por la influencia de las circunstancias sobre los hábitos, y en seguida por la de los hábitos sobre el estado de las partes y hasta sobre el de la organización, cada animal puede recibir en sus partes y su organización modificaciones susceptibles de llegar a ser muy considerables y de haber dado lugar al estado en que encontramos a todos los animales."

Dos de los conceptos principales sostenidos por Lamarck y que motivaron que se lo rechazara fueron, por una parte, la intervención de un acto de voluntad o sentimiento interior de los animales, que se consideró una idea vitalista y no científica, y por otra parte su segunda ley, que fue denominada ley de la herencia de los caracteres adquiridos, rechazada por todos los experimentalistas.

La atribución a Lamarck de una teoría de la volición, incluso por Darwin, se debe a un serio malentendido y al error de traducir al inglés la palabra francesa *besoin* como deseo, en vez de necesidad. En la época de Lamarck no existía otra forma de referirse a ciertas reacciones de los animales que como actos de voluntad. Hablar en aquel entonces de comportamiento o conducta animal equivalía a un despropósito. Hoy es bien claro que cuando uno se refiere a un acto de voluntad en los animales está aludiendo a una elección entre distintas alternativas: huir de un depredador o enfrentarlo, luchar o no con un rival por el dominio

de la manada, etcétera.

Los conceptos esenciales de Lamarck no le pertenecían, sino que estaban en la atmósfera de su tiempo. Así, Condillac explicaba el comportamiento animal como causado por sus necesidades, y Diderot decía que los órganos producen las necesidades y éstas a su vez producen los órganos. Tampoco pertenecían a Lamarck la noción de uso y desuso de los órganos, o la de la herencia de los caracteres adquiridos, que era moneda corriente en ese entonces y que puede rastrearse hasta el Génesis (30, 37-40), donde se relata el episodio del rebaño de ovejas y cabras que Jacob obtiene de Laban gracias al ardid de incidir sobre la herencia de estos animales mediante una influencia de tipo ambiental.

Irónicamente, Darwin mismo sostenía en la primera edición de *El origen de las especies* que la selección natural es asistida a menudo por la herencia de los caracteres adquiridos, y sobre esta idea insistió en las siguientes ediciones, hasta que en la sexta llegó a incorporar todo un capítulo sobre los efectos del uso y desuso de los órganos.

Según lo expone el conocido biólogo Stephen J. Gould, el lamarquismo es una teoría de variación dirigida. Si el pelaje espeso es mejor, los animales perciben la necesidad, desarrollan el pelaje y lo transmiten a la descendencia. La variación genética se origina preferentemente en direcciones adaptativas. Si un biólogo molecular pudiese demostrar irrefutablemente que un cambio ambiental produce un cambio bioquímico que lleva a la incorporación preferencial de información genética que es favorable para el organismo en las nuevas condiciones, entonces quedaría demostrada la posibilidad de la intervención, al menos parcial, de un mecanismo lamarquiano en la herencia.

La gloria de Lamarck radica en haber sido el primero en proponer una teoría coherente de genuino cambio evolutivo, gradual y progresivo. Algunos de los mecanismos mediante los cuales se realiza dicho cambio se establecieron con precisión recién a mediados del siglo XX. Asimismo, fue durante este siglo, hace apenas una década, que se determinó una edad de unos 3.700 millones de años para los sedimentos que contienen las formas de vida más antiguas que se conocen, sobre cuya esencia y modo de origen el gran filósofo-naturalista francés escribió páginas de sorprendente actualidad.

Ovidio Núñez

Instituto Multidisciplinario de Biología Celular (CIC-CONICET)



En busca del huemul patagónico

Alejandro Serret

Fundación Vida Silvestre Argentina

El avance de la colonización, con sus secuelas de modificación de hábitats, ha llevado al borde de la extinción a una significativa cantidad de especies animales de la Argentina. Entre ellas se cuenta el huemul, un ciervo surandino, cuya supervivencia se trata ahora de garantizar.

El huemul es un ciervo de la cordillera meridional argentina que tiene, junto con otros cuatro cérvidos, el triste privilegio de figurar entre el centenar de especies de vertebrados del país en peligro de extinción (véase “Los ciervos argentinos”). Originariamente, en la República Argentina este ciervo andino vivía en la franja cordillerana desde el sur de Mendoza hasta el estrecho de Magallanes; pero también se hallaba en Chile, desde la latitud de Rancagua hasta el mismo estrecho. Así, sus territorios se extendían desde las islas, fiordos y costas del Pacífico hasta la estepa patagónica. Hoy sus poblaciones han visto disminuir esta distribución primitiva en más de un 50%, y muchas veces se encuentran confinadas en localidades aisladas entre sí, que no siempre ofrecen condiciones óptimas para la supervivencia de estos animales.

Las causas de esta merma son variadas. En la historia de la especie, el cazador humano no es una novedad, ya que hasta principios del siglo XX el huemul fue objeto de caza de subsistencia por parte de los nativos, actividad que seguramente reconoce gran antigüedad. Pero el avance de la colonización “blanca” determinó un notable aumento en la intensidad y en la efectividad de esa presión depredadora —facilitada, además, por la mansedumbre de estos ciervos—. Sin embargo, la baja en las poblaciones de huemules no puede atribuirse solamente a la caza. La modificación y la destrucción de hábitats que siguió a dicha colonización (como consecuencia de la tala, de los incendios forestales y del reemplazo parcial del bosque nativo por especies arbóreas exóticas), junto con la incorporación de ganado (transmisor de agentes patóge-

nos) llevaron a una pronunciada y alarmante regresión numérica.

A esta serie de factores se suma, como agravante, que en distintas localidades —dentro y fuera de áreas protegidas— se han introducido otras especies de ciervos, entre ellas tres de las cuatro no autóctonas que hoy existen en libertad en el país (véase “Ciervos exóticos”). Éstas, al competir por recursos y territorios, ejercen otra presión negativa sobre el huemul.

Distinta fue, en cambio, la relación con el pudú, pequeño ciervo de esta región: a pesar de que éste y el huemul son simpátricos, es decir que comparten parcialmente la misma distribución geográfica, viven en diferentes tipos de ambientes de los bosques subantárticos de la Argentina y Chile. El primero tiene por hábitat la densa vegetación de la selva valdiviana (que se extiende en la Argentina por parte de las provincias del Neuquén, Río Negro y Chubut), mientras que el huemul frecuenta los bosques de lengas, asociadas con otras especies de árboles de la misma familia de las fagáceas, en toda la franja boscosa de la cordillera patagónica. De esta manera, estos dos ciervos autóctonos no compiten entre sí.

Amenazado de extinción, como se reconoce internacionalmente, el huemul es al mismo tiempo una de las especies animales menos estudiadas del país. Los trabajos sobre él realizados son escasos y parciales, y su historia natural es conocida —aunque de manera fragmentaria— por investigaciones llevadas a cabo fundamentalmente en Chile.

Así se sabe, por ejemplo, que en las distintas estaciones del año estos animales realizan desplazamientos altitudinales en bus-

ca de ambientes que les brinden abrigo, posibilidades de protección y escape, y una adecuada oferta alimenticia. En la primavera y el verano, se ubican preferentemente en el límite entre la vegetación arbórea y los prados andinos. Con las nevadas otoñales e invernales, en cambio, bajan a las zonas boscosas de las orillas de los lagos, buscando lugares escarpados y rocosos, de compleja cobertura vegetal y al resguardo de las tormentas.

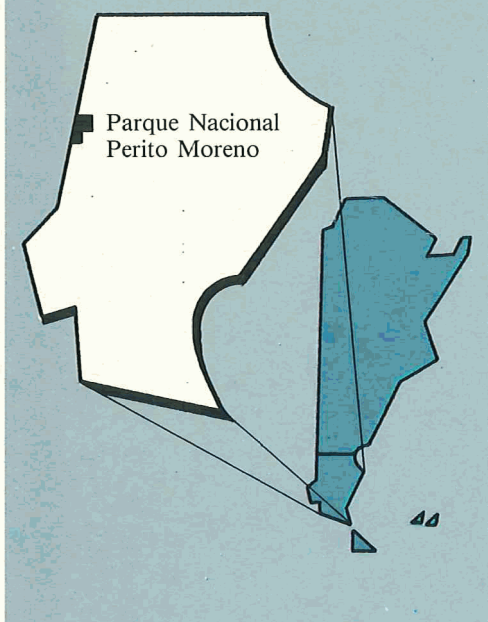
El huemul es muy selectivo: elige para nutrirse hojas y tallos tiernos, como asimismo flores, los alimentos disponibles de mejor calidad. Su dieta varía a lo largo del año, según el clima, la topografía y los ciclos vegetales, y presenta cambios en su composición de acuerdo con las localidades. En los períodos primaveral y estival predominan en su alimentación las especies herbáceas, mientras que en las estaciones restantes se destacan las arbóreas y arbustivas.

En los meses de abril y mayo tienen lugar la brama o celo y el apareamiento, luego del cual —entrado ya el invierno— los machos “voltean” sus cornamentas, es decir que éstas caen (en primavera comenzarán a crecer las nuevas, ciclo que se repite anualmente). Luego de seis o siete meses de gestación, la hembra pare una cría.

Pero la amenaza de extinción que pende sobre el huemul requiere avanzar más en su conocimiento si se quieren tomar eficaces medidas de conservación. La localización y el estudio de las áreas donde sobrevive, la determinación de la estructura y del volumen de su población y de los problemas de conservación surgen como necesidades prioritarias para delinear una estrategia que revierta la situación actual.

En setiembre de 1986 se crea el Proyecto

Provincia de Santa Cruz



Situación del Parque Nacional Perito Moreno.

Los ciervos argentinos

Ocho son las especies autóctonas representantes de la familia de los cérvidos en la Argentina.

Tres de ellas se distribuyen exclusivamente en el centro-norte y región mesopotámica del país; es el caso de las tres corzuelas: la roja (*Mazama americana*), la parda (*Mazama guazoubira*) y la enana (*Mazama rufina*).

El venado de las pampas (*Ozotoceros bezoarticus*), que antes se extendía por vastas regiones entre el Chaco, el Nordeste y la Pampa, hoy se restringe a unas pocas localidades.

El ciervo de los pantanos (*Blastoceros dichotomus*) que, como su nombre indica, es animal de ambientes acuáticos, sufrió asimismo una restricción similar en su distribución geográfica en el Litoral fluvial.

Las tres especies restantes —la taruca (*Hippocamelus antisensis*), su congénere el huemul (*Hippocamelus bisulcus*) y el pequeño pudú (*Pudu pudu*)— son, en cambio, ciervos cordilleranos; la taruca se encuentra en el norte y los otros dos en el sur de la cordillera argentina.

De estas ocho especies, todas excepto las corzuelas se hallan actualmente en peligro de extinción.

Huemul, que —auspiciado por la Fundación Vida Silvestre Argentina— lleva adelante trabajos de estudio y conservación de la especie, con campañas de difusión y de gestión que apoyan la investigación de campo.

En los períodos comprendidos entre el 1° y el 13 de marzo de 1988 y entre el 20 de enero y el 12 de febrero de 1989, el equipo de la Fundación Vida Silvestre centró sus estudios en el Parque Nacional Perito Moreno, ubicado en el centro-oeste de la provincia de Santa Cruz (República Argentina). Se eligió esta localidad en razón de que la información recopilada de siete avistajes o registros efectuados por guardaparques de esta área protegida, junto con la efectiva intangibilidad de su sector oeste y la probable presencia de huemules en los sectores chilenos y provinciales colindantes, ofrecían seguros antecedentes para una investigación potencialmente exitosa.

Se trazaron entonces transectas (es decir, líneas imaginarias para orientar la recolección de datos) que, mientras las características del terreno lo permitían, incluyeron las costas de lagos, mallines (especie de bañados o pantanos cordilleranos) y lagunas de altura, cubriendo tres distintas altitudes dentro del hábitat anual de la especie: nivel de los lagos, mitad de ladera y límite de la vegetación arbórea (850, 1.000 y 1.300 metros sobre el nivel del mar respectivamente).

Ciervos exóticos

A las ocho especies de cérvidos autóctonos del país, se agregan otras, introducidas por el hombre durante el siglo XX y exitosamente adaptadas a la vida silvestre, situación en que en general compiten con las primeras.

El robusto ciervo colorado (*Cervus elaphus*), procedente de Europa y trofeo muy apreciado por los cazadores, habita en zonas de la provincia de La Pampa, en la cordillera patagónica y en algún enclave del Noroeste.

El ciervo dama, o gamo (*Dama dama*), de origen euroasiático, se extiende por partes de la llanura pampeana y el noroeste patagónico.

El ciervo axis (*Axis axis*) fue introducido, en cambio, desde la India, y tiene distribución similar al anterior, aunque también aparece en zonas del norte argentino.

El reno (*Rangifer tarandus*), traído desde el Canadá, se reprodujo con diferente éxito en la provincia de Tierra del Fuego y las islas Georgias del Sur.

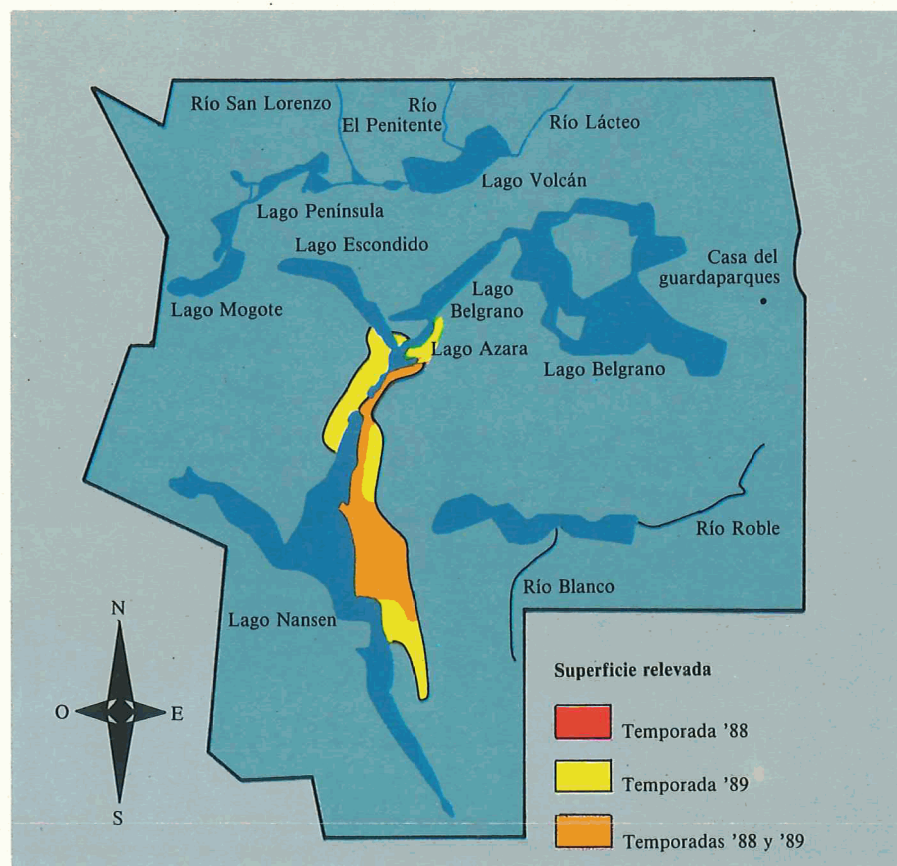


Fig. 1. Extensión de las campañas 1988 y 1989.



Amenazado de extinción, el huemul ha sufrido una merma del 50% en su distribución original. En la imagen, una hembra.

Dadas las bajas probabilidades de efectuar observaciones directas de ejemplares, se puso particular atención en la presencia de sus rastros (“bosteos” o excrementos, ramoneos, “volteos” o astas caídas, restos óseos, senderos, rastrilladas o conjuntos de huellas marcadas en el suelo, frotado de cornamentas en los árboles, presencia de pelos, etc.), cuya interpretación sirvió para determinar el estado poblacional y el uso del hábitat en el área considerada (véase “Huellas y otros rastros”).

En la temporada de 1988 se recorrieron a pie 117 km —incluyendo la aproximación al área de relevamiento—, 68 de los cuales correspondieron a las transectas antes mencionadas. Se hizo así prospección de unas 1.200 ha en el nordeste del lago Nansen y en el este del Azara (véase la figura 1). Se localizaron 70 rastros: 54 bosteos (16 recientes y 38 viejos), doce huellas y dos restos óseos, etc. Se observaron, también, un macho y una hembra, ambos adultos, a 300 metros uno del otro y en una altitud de 1.250

Huellas y otros rastros

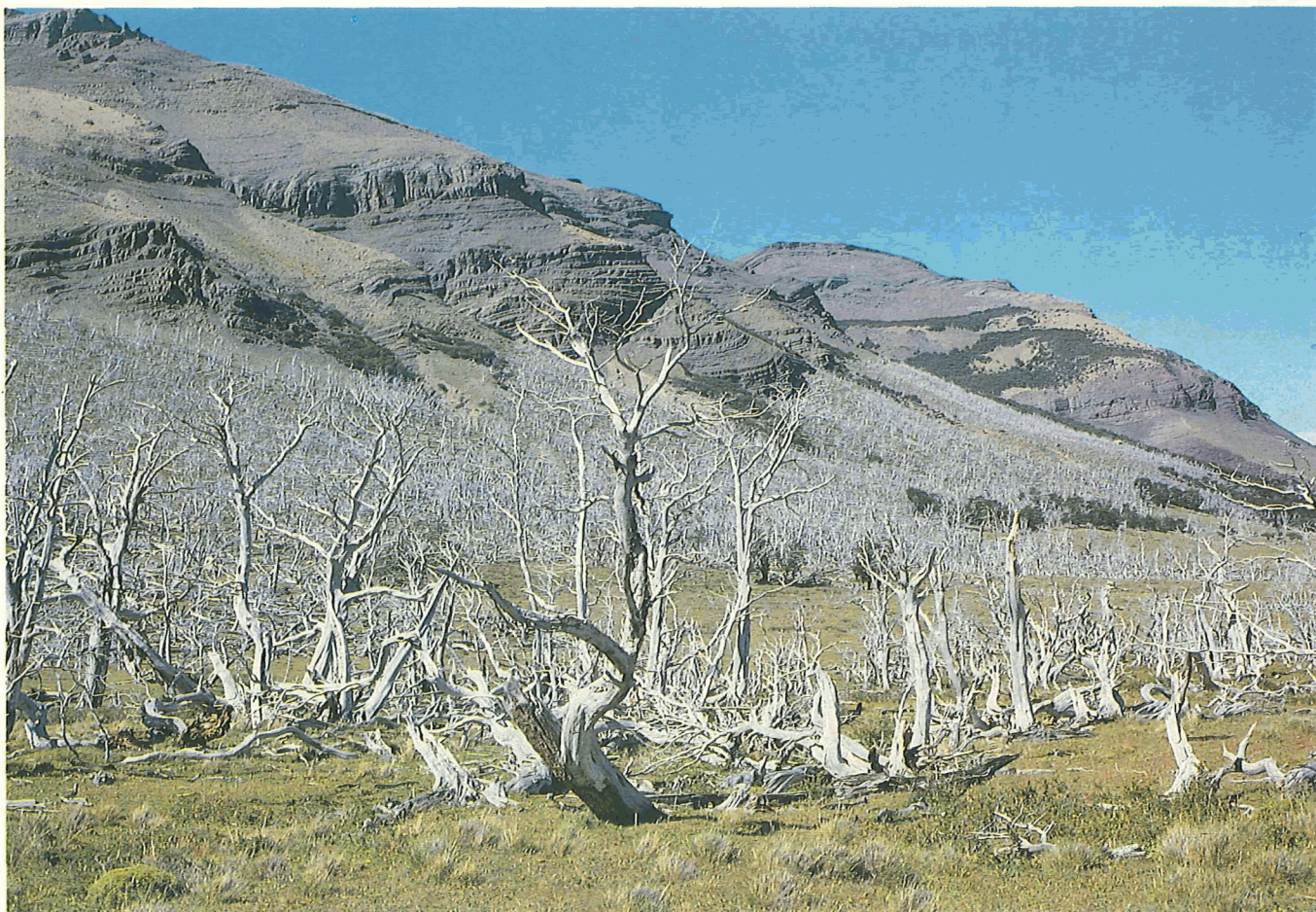
Es necesario aclarar el criterio metodológico adoptado para procesar los datos proporcionados por el rastreo de estos animales. El entorno de cada rastro y de las observaciones directas de huemules (15 metros para composición florística y 50 metros para ambiente) se describieron en planillas confeccionadas a nuestros efectos.

Las huellas semejantes se consideraron como pertenecientes a un mismo individuo, excepto cuando se hallaron separadas por distancias superiores a un kilómetro y/o por barreras geográficas de importancia (quebradas, glaciares, lagos, etc.), circunstancia en que se las atribuyó a distintos ejemplares. En caso de

dudas, se fijaron valores mínimos, máximos y probables de animales presentes.

La medición de huellas permitió clasificar a los animales por sexo y edad (para esto, se descartaron las borrosas y distorsionadas que, en cambio, se tuvieron en cuenta para caracterizar el uso del ambiente). Aquellas de entre 2,5 y 4,5 cm se atribuyeron a crías; las de 4,5 a 6 cm, a ejemplares de hasta un año; las de 6 a 6,5 cm, a hembras adultas, y las de más de 7 cm a los machos adultos.

Los bosteos, según su grado de humedad, intensidad de coloración y forma, fueron catalogados como recientes o viejos, información que permitió relacionarlos con el uso estacional del hábitat.



Entre los varios factores adversos a la supervivencia de esta especie, se cuentan los incendios forestales, que modifican drásticamente el ambiente.

metros sobre el nivel del mar, en el prado andino. La mayor concentración de rastros se encontró a los 950 metros sobre el nivel del mar y la menor en el nivel de los lagos y por sobre el límite de la vegetación arbórea, aunque en estos dos puntos se advirtieron señales de actividad del huemul.

A partir de la información recogida, se estimó una cantidad probable de diez huemules en el área bajo estudio, con un mínimo de seis y un máximo de catorce. Además, se determinó la estructura poblacional mínima en dos animales de hasta un año, una hembra adulta, un macho adulto y otros dos individuos adultos de sexo indeterminado. Las anotaciones de campo, asimismo, indicaron tanto las especies vegetales que con preferencia se hallaron asociadas con la presencia del huemul, como las evidencias de sus depredadores potenciales (véase "Sobre plantas y predadores").

En la temporada de 1989, la distancia recorrida a pie superó ya los 200 km, de los cuales 108 se incluyeron en las transectas. La superficie total de prospección resultó ahora de 3.000 ha, 1.200 de ellas ya recorridas durante la campaña anterior y las restantes pertenecientes a un nuevo sector del Parque, en el noroeste del lago Nansen, sudoeste del Azara y sudeste del Escondido.

Sobre plantas y predadores

En el curso de las campañas 1988 y 1989 se determinó que las especies vegetales que aparecían preferentemente asociadas con los huemules eran un árbol de la familia de las fagáceas —la lenga (*Nothofagus pumilio*)— y dos arbustos —la mutilla (*Empetrum rubrum*) y la chaura (*Pernettya mudronata*).

En la margen este del lago Nansen, antiguos incendios transformaron al bosque de lenga en una comunidad vegetal arbustiva con dominancia de calafates (*Berberis* spp.) y romerillos (*Chilothrichum rosmarinifolium*), donde también se verificó la presencia de huemules.

Además, se obtuvo evidencia de los tres potenciales predadores de crías y/o ejemplares adultos de huemul: el águila mora (*Geranoaetus melanoleucus*), el zorro colorado (*Dusicyon culpaesus*) y el puma (*Felis concolor*).

En esta ocasión, la cantidad de registros fue considerablemente mayor ya que se hallaron y caracterizaron 218 rastros (158 bosteos, 17 recientes y 141 viejos; 43 huellas; un resto óseo; un volteo; tres senderos; dos rastrilladas; cinco ramoneos), notándose la mayor concentración a 960 metros sobre el nivel del mar y una distribución desigual según ambientes, con predominio de los bosques (véase figura 2). Además, a 60 metros por debajo de esa altitud, se observó un macho del año, de aproximadamente catorce meses de edad.

Del análisis de los datos surgió que, en igual territorio que el considerado en la temporada de 1988, la cantidad probable de animales era ahora también de diez individuos, pero con un mínimo de nueve y un máximo posible de doce.

El área centro-este del lago Nansen arrojó, por su parte, una cantidad probable estimada de tres ejemplares, con iguales máximo y mínimo, en tanto que para el noroeste del mismo lago, sudoeste del Azara y sudeste del Escondido se llegaba asimismo a un cifra probable de nueve, con mínimo de ocho y máximo de diez. También se trazaron para estas tres áreas las respectivas estructuras poblacionales mínimas (véase la figura 3).

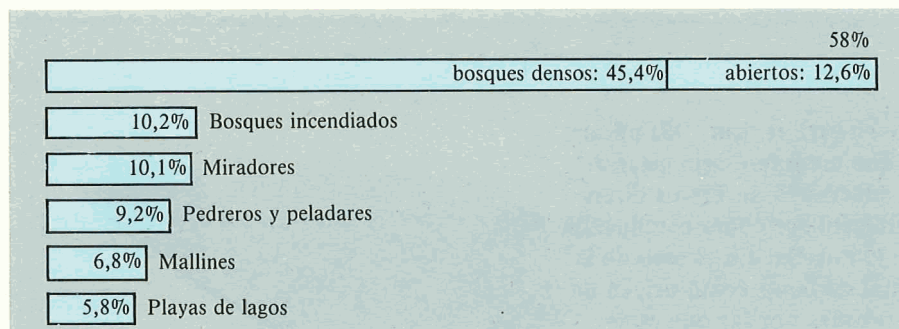


Fig. 2. Distribución de los registros de rastros según ambientes.

Área de estudio	Crías	Animales del año	Hembras adultas	Machos adultos	Adultos sexo ind.	Total
NE lago Nansen y E lago Azara	1	2 (1♂)	1	1	4	9
Centro-este lago Nansen	-	1	1	1	-	3
NO lago Nansen, SO lago Azara y SE lago Escondido	-	2	2	3	1	8
Total de huemules por categoría	1	5	4	5	5	20

Fig. 3. Estructuras poblacionales mínimas (temporada 1989).



Una de las especies vegetales más frecuentemente asociadas con el huemul es la lenga, árbol cuyas hojas toman característico color rojo en otoño.



Un cartel, parte de la campaña protectora.

La superficie total del Parque Nacional Perito Moreno es de 115.000 ha, cuyo 50% —descontando lagos, glaciares y altas cumbres— es apto para la vida de los ciervos. Si sumamos a esto la presencia de al menos veinte individuos en las 3.000 ha relevadas en las campañas, con un alentador recambio de las poblaciones (seis animales de hasta un año de edad), podemos concluir que el lugar es de gran valor para la conservación del huemul.

Finalizadas las campañas en el propio terreno, se podrán extrapolar los resultados al sector sudoeste del Parque, de difícil acceso pero con características de hábitat muy semejantes al resto y ausencia de factores de extinción. Por otro lado, en los territorios chilenos limítrofes al sector oeste del Parque la presencia del huemul está comprobada, según información proporcionada por la Corporación Nacional Forestal (CONAF) de Chile, que actualmente lleva adelante un proyecto pionero de investigación sobre este cérvido.

Semejante continuum territorial resulta, a todas luces, promisorio para la recuperación numérica de la especie. En nuestro país, posiblemente ésta sea la primera investigación de campo dedicada a la búsqueda y al estudio de las últimas poblaciones del huemul. Ahora resulta vital que se intensifiquen y se amplíen los relevamientos hacia otras zonas cordilleranas, tanto dentro como fuera de nuestro sistema de áreas protegidas, sin descuidar la cooperación al respecto con Chile: de tal modo podrán proveerse acciones tendientes a salvar de la extinción a este representante de la fauna autóctona. ☉



LECTURAS SUGERIDAS

- ALDRIDGE, D., 1985, "Al rescate del Huemul en Aysen", en *Chile Forestal*, 117, págs. 16-17.
- COLOMES, A., 1978, *Biología y ecología del Huemul chileno*, tesis, Universidad Nacional de Chile.
- POVILITIS, A., 1985, "Social Behavior of the Huemul During the Breeding Season", en *Z. Tierpsychol.*, 68, págs. 261-286.
- RAU, J., 1978, "Movimiento, hábitat y velocidad del huemul del sur", en *Noticiario Mensual*, Chile, 281-2, págs. 7-9.

He leído, entre otros artículos del n° 4 de vuestra revista, "El púlsar en la supernova", y hay ciertos aspectos que me interesaría aclarar. Cuando los autores escriben acerca de la supernova de Tipo I dicen que en el núcleo se forman ^{56}Ni y ^{56}Co utilizándose como combustible al carbono que se fusiona en el centro de la estrella. En el caso de la supernova de Tipo II mencionan también al carbono como origen de la formación del ^{56}Fe . Quisiera saber las razones por las que estas reacciones dan productos distintos a partir del mismo elemento.

Angela Alexandroff, Quilmes



En ambos objetos se consume el carbono para dar lugar a la formación (entre otros) de ^{56}Ni , ^{56}Co , y ^{56}Fe ; sin embargo esto ocurre en situaciones astrofísicas muy diferentes según tengan lugar en el interior de una estrella pre-supernova de Tipo I o de Tipo II.

En el caso de las supernovas de Tipo I las reacciones ocurren en el interior de una enana blanca. Este objeto es llevado a una configuración inestable debido a la transferencia de materia desde una estrella normal con la que forma un sistema binario. Las reacciones nucleares tienen lugar en equilibrio estadístico y el sistema forma los núcleos más ligados conocidos (citados anteriormente) como resultado de la tendencia de los procesos físicos a formar los estados más ligados accesibles. Aparentemente las reacciones comienzan con la quema de carbono, ya que las enanas blancas presumiblemente poseen este elemento en grandes cantidades, lo que es sugerido por estudios de la evolución de estrellas de pequeña masa. La com-

bustión impulsa la explosión de la supernova de Tipo I, aunque aún se encuentra en discusión si ella ocurre a través de una detonación (quema supersónica) o una combustión lenta (subsónica). En resumen, el modelo que se acepta para estos objetos es el de una explosión termonuclear.

Los procesos nucleares en el caso de las supernovas de Tipo II ocurren en el interior de una estrella masiva, la cual consume diferentes especies nucleares durante su evolución. Al comienzo se forma helio a partir de hidrógeno, luego carbono a partir del helio, y después, sucesivamente, oxígeno, neón, silicio y hierro. Estas fusiones liberan suficiente energía como para evitar que la estructura de la estrella se derrumbe por efecto de su campo gravitatorio, aunque en realidad sólo retrasan el colapso final en algunos millones de años. Es importante hacer notar que estos procesos ocurren en objetos masivos sin necesidad de que reciban material desde una estrella compañera. La diferencia fundamental respecto de los mo-

delos de supernovas de Tipo I es que en las de Tipo II estas fusiones nucleares sucesivas no liberan suficiente energía como para explicar los eventos observados (ello sucede, por ejemplo, en el caso de la SN 1987A). En realidad el mecanismo de explosión de supernovas de Tipo II todavía no se conoce con certeza, aunque existen interesantes propuestas al respecto, todas las cuales interpretan los eventos observados como consecuencia de colapsos gravitatorios.

Para más detalles, la lectora puede consultar el excelente artículo de S. E. Woosley y T. A. Weaver publicado por *Annual Reviews of Astronomy and Astrophysics*, vol. 24, 205 (1986).

Omar G. Benvenuto

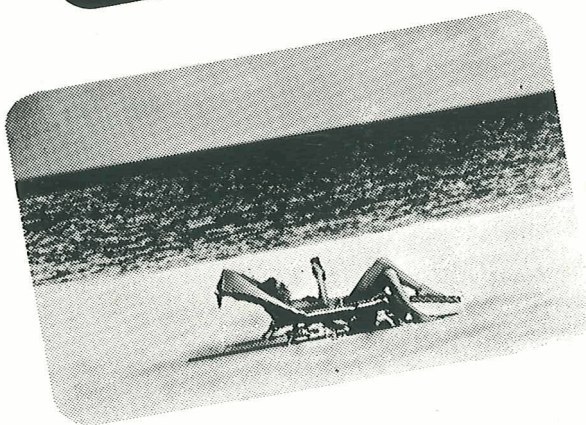
Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas
Universidad Nacional de La Plata

Jorge E. Horvath

Departamento de Física
Universidad Nacional de La Plata



Track-track



y listo.

Track-track es su sello de confianza en los comercios de la Argentina y del mundo entero.
Track-track también es el tiempo que le lleva consultar el saldo de sus cuentas, retirar efectivo, hacer depósitos y transferencias, en cualquiera de los 450 puntos de atención de la Red BAPRO.

Track-track .

Tan rápido como su imaginación.

Track-track

Volar rumbo a esas merecidas vacaciones.

Track-track

Cenar en el restaurante que usted elija.

Track-track

Conseguir esa corbata de seda italiana que tanto buscaba.

Track-track

Financiación de hasta el 90% en todos sus gastos locales.

Visa Banco Provincia.

La tarjeta n° 1 del mundo y la solidez del Banco Provincia juntos.

Acérquese y descúbrala.

En un track-track, la tendrá en sus manos.



Visa Banco Provincia

La excelencia de un producto se
sustenta en la empresa que lo avala

nopucid

COMPUESTO
Decametrina - PBX

Cura, previene y termina con la pediculosis

NO TOXICO

VENTA
EXCLUSIVA
EN
FARMACIAS



PRESTIGIO Y SEGURIDAD

SINTYAL

DEPARTAMENTO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO